НАУКА ВЕЛИЧАЙШИЕ ТЕОРИИ

ЛОРД КЕЛЬВИН 31

Классическая термодинамика

Физике становится тепло

DeAGOSTINI

ЛОРД КЕЛЬВИН классическая термодинамика

31

DeA

SHOUT
SHARE
IT

Annotation

Под именем лорда Кельвина вошел в историю британский ученый XIX века Уильям Томсон, один из создателей экспериментальной физики. Больше всего он запомнился своими работами по классической термодинамике, особенно касающимися введения в науку абсолютной температурной шкалы. Лорд Кельвин сделал вклад в развитие таких областей, как астрофизика, механика жидкостей и инженерное дело, он участвовал в прокладывании первого подводного телеграфного кабеля, связавшего Европу и Америку, а также в научных и философских дебатах об определении возраста Земли.

-
- Antonio M. Lallena Rojo
- Введение
- ГЛАВА 1
- ГЛАВА 2
- ГЛАВА 3
- ГЛАВА 4
- ГЛАВА 5
- Список рекомендуемой литературы
- Указатель

Antonio M. Lallena Rojo
Наука. Величайшие теории: выпуск 31. Физике становится тепло. Лорд Кельвин. Классическая термодинамика

Наука. Величайшие теории Выпуск № 31, 2015 Еженедельное издание

ISSN 2409-0069

Наука. Величайшие теории: выпуск 31: Физике становится тепло. Лорд Кельвин. Классическая термодинамика.

Пер. с исп. - М.: Де Агостини, 2015. - 160 с.

© Antonio M. Lallena Rojo, 2013 (текст)

© RBA Collecionables S.A., 2013

© ООО «де Агостини», 2014-2015

Введение

В газете The Evening News — городском издании Сан-Хосе (Калифорния) — 16 июля 1901 года была опубликована новость, озаглавленная «Нехватка кислорода». Говорилось в ней следующее: «На недавней лекции лорд Кельвин выразил свою тревогу по поводу растраты кислорода, вызванной современными промышленными процессами. Он предположил, что если положение дел не изменится, то примерно через 500 лет количество этого газа, оставшееся на Земле, будет недостаточным для поддержания жизни. [...] В соответствии с расчетами лорда Кельвина, при сохранении современных тенденций кислорода и топлива хватит примерно до 2400 года. Следовательно, если к этому времени человеческий род не вымрет из-за отсутствия топлива, то вполне возможно, что он погибнет от удушья».

Лордом Кельвином был Уильям Томсон, профессор кафедры натурфилософии в Университете Глазго. Его современников довольно сильно поразила мысль о гипотетической нехватке кислорода, с которой человечество может столкнуться. Однако предсказание лорда Кельвина, совершенно справедливое в части истощения запасов углеводородов, не было таковым для кислорода. Ученый считал единственным источником необходимого для жизни газа фотосинтез, но он не знал подробностей этого процесса и в целом не был знаком с циклом выработки кислорода, так что его прогноз оказался ошибочным. И это не единственный случай, когда лорд Кельвин ошибался. Но что же роднит все его прогнозы? Это, без сомнений, стойкое желание ученого применять законы физики к любым научным и техническим проблемам. Независимо от правоты лорда Кельвина, его стремление формулировать задачи и подходить к их решению с физико-математической точки зрения превратило ученого в значительную фигуру в современной ему науке. Он был одним из наиболее выдающихся физиков в истории, хотя многое в его деятельности действительно довольно спорно.

Жизнь лорда Кельвина протекала в викторианскую эпоху. Современник королевы Виктории (1819-1901) - ученый был на пять лет ее моложе и пережил ее почти на семь лет - был свидетелем и участником бесчисленного количества фактов, примечательных для науки в целом и для физики в частности. Как физик-математик и инженер, он решительно повлиял на развитие механистической картины мира, преобладавшей в течение XIX века, и был свидетелем ее блеска. Ученый сосредоточил свои усилия на применении этой модели к

различным областям физики, особенно к термодинамике и электромагнетизму. Некоторые его работы в этой области были основополагающими, поскольку давали ответ на главные вопросы термодинамики, а также помогли другим уточнить и довести до совершенства свои теории, как в случае с Максвеллом и его уравнениями электромагнитного поля.

Участие лорда Кельвина в создании механических моделей можно оценить по одной из его знаменитых Балтиморских лекций, прочитанной в 1884 году. Томсон говорил: «Моя цель - показать, как создать механическую модель, которая отвечала бы условиям, необходимым для физических явлений, которые мы рассматриваем - какими бы они ни были. Когда мы рассматриваем упругость твердых тел, я хочу иметь модель этого. Если мы рассмотрим колебания света, я захочу смоделировать, что именно происходит при этом. Мы хотим понять все о явлении, но понимаем только часть. Мне кажется, что для того чтобы проверить, понимаем ли мы каждое физическое явление, нужно ответить на вопрос: можем ли мы создать его механическую модель? [...] Я никогда не чувствую себя удовлетворенным, если не могу себе представить механической модели изучаемого явления. Если я могу представить себе такую модель - значит, понимаю вопрос, если не могу - значит, я не понимаю его...»

К концу жизни Томсон, несколько ошеломленный, наблюдал, как его подход переживает кризис и разваливается: в эти годы наука как раз избавлялась от понятия эфира как среды для переноса света, тепла и других форм энергии. И понимание этого позволяет пролить свет на некоторые комментарии ученого в то время. Например, в дискуссии, которая началась в 1896 году, на торжествах по случаю юбилея его работы в Университете Глазго, лорд Кельвин утверждал: «Только одно слово характеризует упорные усилия, которые я настойчиво прилагал в течение 50 лет, чтобы способствовать развитию научного знания, и это слово — провал». Однако это утверждение не отвечает высокомерию, с которым Томсон, например, вел громкую полемику с геологами и биологами-дарвинистами относительно возраста Земли.

В 1900 году он прочел лекцию под названием «Облака XIX века над динамической теорией тепла и света». В ней лорд Кельвин говорил о двух проблемах, требовавших решения: «Красота и ясность динамической теории, которая устанавливает, что тепло и свет - это способы движения, сейчас затуманены двумя облаками. Первое родилось с волновой теорией света, и им занимались Френель и доктор Томас Юнг; оно подразумевает вопрос: как Земля может двигаться через упругое тело, каковым,

по сути, является эфир? Второе - это доктрина Максвелла — Больцмана относительно распределения энергии».

Первый вопрос касается уже упомянутого отказа от эфира как категории, необходимой для объяснения движения света. Вторая проблема сосредотачивается на так называемом излучении черного тела. Два этих вопроса — далеко не второстепенные неудобные мелочи; оба этих «облака» стали отправной точкой для двух теорий, которые произвели революцию в физике начала XX века: речь идет о теории относительности и квантовой теории. «Думаю, что скоро мы узнаем о великих откровениях», - написал лорд Кельвин одному из своих коллег за несколько месяцев до смерти.

Одержимость устаревшим механицизмом была не единственной ошибкой лорда Кельвина, выступавшего также против электромагнитной теории Максвелла, радиоактивности и других открытий, произошедших после 1865 года. Его поведение в течение последней трети жизни напоминало поведение маньяка, не желающего принимать ни одно научное новшество, относительно которого он имел сомнения, предубеждения или которое просто не укладывалось в рамки привычных для него теорий. На самом деле сегодня лорд Кельвин представлен в физике довольно скудно: о нем напоминают лишь абсолютная температурная шкала (шкала Кельвина) и единица измерения (кельвин). Любопытно, что эти понятия начали использоваться только в 1954 году, спустя долгое время после смерти ученого.

Значительная часть материалов о лорде Кельвине, которые публикуются сегодня, посвящена исключительно ошибкам, которые он совершал, как уже упомянутое мнение об уменьшении количества кислорода на планете. Вновь и вновь историки науки вспоминают его слова — действительные его слова: «Летательные аппараты, которые тяжелее воздуха, невозможны», «У радио нет будущего», «Рентгеновские лучи — это выдумка», «У меня нет ни малейшей веры в воздушную навигацию, отличную от воздушных шаров, и надежды на хорошие результаты в каком-либо из испытаний, о котором мы слышали», «Нет ничего нового, что может быть открыто в физике сейчас; все, что осталось,— это проводить все более и более точные эксперименты» ... Кажется, сложно найти другого человека, настолько далекого от реальности, но почему же тогда королева Виктория решила пожаловать Томсону дворянский титул?

Возможно, ответом станет деятельность ученого до того, как ему исполнилось приблизительно 40 лет, — и когда он проявлял научную смелость, неожиданную для автора приведеиных выше изречений. Примерно в середине XIX века были сформулированы

теории о свете, теплоте, электричестве и магнетизме — классических дисциплинах физики, — и участие в этом Томсона было основополагающим. Не будет большим преувеличением сказать, что в течение двух последних третей XIX века ни одна дискуссия в физике не проходила без его участия. Авторитет Томсона среди его европейских коллег был исключительно высок, и многие считали его самым блестящим ученым последних десятилетий.

Также следует вспомнить и бесчисленные достижения Томсона. Он ввел абсолютную температурную шкалу. В механике жидкостей известна теорема Кельвина о циркуляции. Он открыл так называемый эффект Томсона - термоэлектрическое свойство материалов, а вместе с Джоулем - термодинамический процесс, известный как эффект Джоуля - Томсона. В астрофизике используется временная шкала Кельвина - Гельмгольца - оценка времени, в течение которого звезда может светить, благодаря действию силы тяготения, сдавливающей ее массу с выделением тепла. Именами тех же людей названа неустойчивость в динамике жидкостей, которая объясняет, например, образование в атмосфере определенных типов облаков. Волны, которые формирует нос плывущего корабля, соответствуют так называемой модели Кельвина. Томсон открыл магнетосопротивление, и теорема Стокса о векторном исчислении появилась в первый раз в письме Томсона Стоксу, который позже использовал ее для формулировки одной из задач на экзамене 1854 года на премию Смита. Согласно Сильванусу Филиппу Томпсону, одному из биографов ученого, лорд Кельвин получил более 50 патентов в таких областях, как телеграф, компасы, навигационные приборы, динамо-машины и электрические лампы, электроизмерительные инструменты, электролитическое производство щелочей, клапаны для жидкостей и так далее. Наконец, Томсон активно участвовал в прокладке первого телеграфного кабеля через Атлантический океан.

Мы упоминали самые известные фразы лорда Кельвина - скептика, но нельзя оставить в стороне и другие изречения, в которых проявился его научный гений. В 1871 году в Эдинбурге, в связи с собранием Британской ассоциации развития науки, Томсон, который председательствовал на мероприятии, обратился к присутствующим с любопытными словами: «Наука стремится накапливать знания, следуя закону о сложных процентах. Каждое прибавление к знанию о свойствах материи предоставляет [физику] новые инструментальные средства для описания и толкования явлений природы, которые, в свою

очередь, дают основания для новых обобщений, увеличивая постоянную стоимость в этом большом накоплении [натуральной] философии».

В лекции, прочитанной в Институте гражданских инженеров 3 мая 1883 года, ученый довольно точно выразил свою научную позицию: «Если ты можешь измерить то, о чем говоришь, и выразить это в числах, ты знаешь что-то об этом, но если не можешь выразить в числах, твое знание имеет скудный и неудовлетворительный характер».

Лорд Кельвин умер 17 декабря 1907 года в своем доме в Нетерхолле, в пригороде Ларгса (Шотландия). Похороны состоялись 23 декабря в Лондоне, на них присутствовали представители университетов и институтов всего мира. Ученый был похоронен в Вестминстерском аббатстве. На его могильной плите начертано: «В память барона Кельвина из Ларгса, инженера, натурфилософа, 1824-1907».

1824 26 июня в Белфасте родился Уильям Томсон. Его мать умерла в 1830 году.

1832 Семья переехала в Глазго, где отец Уильяма преподавал математику в университете. Там же учился и Томсон.

1841 Опубликовал первую научную статью, в которой защищал работу француза Фурье. Начал обучение в Кембриджском университете.

1845 Проводил исследования в лаборатории Реньо в Париже.

1846 Назначен преподавателем натуральной философии в Университете Глазго.

1851 Избран на роль фелло Лондонского королевского общества. Открыл явление, известное сегодня как эффект Томсона.

1852 Женился на Маргарет Крам (она скончается в 1870 году).

1864 Опубликовал расчеты, касающиеся возраста Земли. В следующем году участвовал в проекте прокладки подводного трансатлантического кабеля.

1866 Посвящен в рыцари. В следующем году совместно с Питером Тэтом опубликовал «Трактат о натуральной фпшософии».

1874 Заключил брак с Фрэнсис Анной Блэнди. Назначен президентом Общества телеграфных инженеров.

1881 Французское правительство предоставило Томсону титул командора ордена Почетного легиона. В 1889 году получил титул Великого Офицера.

1883 Награжден медалью Копли.

1884 Прочитал лекции в Балтиморе о молекулярной динамике и волновой теории света.

1890 Избран президентом Королевского общества, эту должность он занимал до 1894 года.

1892 Получил дворянский титул барона Кельвина из Ларгса.

1893 Возглавил международную комиссию по разработке плана гидроэлектростанции на Ниагарском водопаде.

1896 Получил Большой Крест Королевского Викторианского ордена.

1898 Избран президентом Лондонского математического общества (на этом посту оставался до 1900 года).

1899 Ушел в отставку в качестве преподавателя Университета Глазго.

1906 Основана Международная электротехническая комиссия, первым президентом которой он стал.

1907 Умер 17 декабря в своем поместье в Нетерхолле. Похоронен в Вестминстерском аббатстве.

ГЛАВА 1
Выдающийся студент

Математик-вундеркинд Уильям Томсон с самого раннего возраста проявлял исключительные способности к науке - во многом благодаря своему отцу, который внимательно относился к образованию сына. Будущий лорд Кельвин всегда интересовался исследовательскими вопросами, и когда ему едва исполнилось 20, уже внес важный вклад в изучение явлений переноса тепла и электромагнетизма на основе достижений Фурье.

В Университете Глазго 15, 16 и 17 июня 1896 года отмечалось важное событие: 50 лет назад лорд Кельвин получил кафедру натурфилософии. В празднествах приняли участие несколько сотен людей - представителей мира науки, политики и образования из разных стран. После ужина 16 числа сэр Джеймс Белл, мэр Глазго, обратился к присутствующим со словами:

«Королева приказывает мне попросить вас всех любезно выразить лорду Кельвину самые искренние поздравления от Ее Величества в связи с его юбилеем на кафедре в Университете Глазго. Ее Величество надеется, что многие гады здоровья и благополучия ждут его и госпожу Кельвин. Королева особо благодарит стольких присутствующих здесь выдающихся деятелей из всех стран мира, которые приехали воздать честь ее избранному гостю».

Лордом Кельвином, в адрес которого звучало столько комплиментов в связи с его юбилеем на кафедре, был не кто иной, как Уильям Томсон. Уже 70-летний тогда профессор родился 26 июня 1824 года в Белфасте (Северная Ирландия). Его отец, Джеймс Томсон, родился в 1786 году в Баллинахинче (графство Даун, Северная Ирландия) и учился в Университете Глазго с 1810 по 1814 год, а в 1815 году был назначен преподавателем математики в Королевском академическом институте Белфаста. Спустя два года, летом 1817-го, он заключил брак с Маргарет Гардинер, которая родила своему мужу семь детей: Элизабет, Анну, Джеймса, Джона, Маргарет, Роберта и Уильяма. Когда Уильяму было всего пять лет, мать скончалась.

Помимо небольшого оригинального вклада в математику, отец будущего ученого писал учебники, причем некоторые из них пользовались значительным успехом — такие как «Арифметика», опубликованная в Белфасте в 1819 году. К 1880 году эта книга насчитывала 72 переиздания. Также Джеймсу Томсону принадлежат учебники «Тригонометрия, плоская и сферическая»

(1820) и «Дифференциальное и интегральное исчисление» (1831).

ПЕРЕЕЗД В ГЛАЗГО

После смерти супруги Джеймс Томсон взял воспитание детей на себя. Помимо математики, он хорошо знал латынь и греческий, причем до такой степени, что иногда давал уроки гуманитарных предметов студентам университета. В 1832 году Джеймсу предложили кафедру математики в Университете Глазго, и вся семья переехала в этот шотландский город.

Уже в 1834 году Уильям и его брат Джеймс были готовы к поступлению в Университет Глазго, но лишь через четыре года они начали учебу в этом академическом учреждении. С самого начала братья делали успехи как в естественнонаучных курсах, так и в гуманитарных дисциплинах. Так, в 1840 году Уильям написал очерк под названием «Об облике Земли», за который получил университетскую премию.

В течение 1839/1840 учебного года Уильям познакомился с двумя работами, повлиявшими на его последующую деятельность в области физики, — «Аналитической механикой» Жозефа Луи Лагранжа (1736-1813) и «Небесной механикой» Пьера-Симона Лапласа (1749-1827), выдающихся ученых конца XVIII — начала XIX века. Томсон впервые услышал об этих трактатах от своего научного наставника Джона Никола, королевского преподавателя астрономии, который в том году замещал профессора Уильяма Мейклхема, отсутствовавшего по болезни. Несмотря на значительную математическую сложность этих работ, Никол подтолкнул студента к их глубокому изучению, а также побудил его познакомиться с трудами еще двух выдающихся французских ученых - математика Адриена Мари Лежандра (1752-1833) и физика Огюстена Жана Френеля (1788-1827), оба они были современниками Лагранжа и Лапласа.

В 1839 году Уильям и его братья провели несколько месяцев в Париже, а летом 1840 года вся семья поехала в Германию, и эту поездку Томсон запомнил навсегда. К тому времени Никол познакомил Уильяма с работой, которая оказалась решающей в его научной жизни. Речь идет об «Аналитической теории тепла» французского математика и физика Жана Батиста Жозефа Фурье.

На Томсона, которому едва исполнилось 16, работа Фурье произвела глубокое впечатление, о чем свидетельствует одно из его воспоминаний о той поездке в Германию:

«Отправившись тем летом в Германию вместе со своим отцом, братьями и сестрами, я захватил с собой Фурье. Отец, взяв нас в Германию, потребовал, чтобы все остальные занятия были оставлены и все наше время было посвящено изучению немецкого языка. [...] Ровно за два дня до выезда из Глазго я нашел книгу Келланда, и меня удивило то, что он говорил о Фурье, будто тот ошибается в большинстве своих рассуждений. Мы остановились во Франкфурте... Я взял за привычку тайком забираться ежедневно в подвал, чтобы читать там отрывок за отрывком из Фурье. Когда отец открыл это, он не поступил со мной очень строго».

Также внимание молодого Уильяма привлекла работа «Теория теша», написанная профессором математики Эдинбургского университета Филиппом Келландом (1808-1879) и опубликованная в 1837 году. Физик Сильванус Филипп Томпсон (1851-1916), автор биографии лорда Кельвина, опубликованной в 1910 году, привел слова ученого об этом: «Меня наполнило негодованием утверждение Келланда о том, что почти весь Фурье ошибочен». Келланд не понял тождества, существующего между двойным рядом Фурье, записанным в терминах синусов и косинусов, и простым рядом, выраженным в виде либо синусов, либо косинусов, для чего нужно было всего лишь изменить аргументы этих тригонометрических функций. Это и привело Келланда к выводу о том, что выкладки в книге Фурье, включавшие использование простых рядов, ошибочны.

ФУРЬЕ И ПОВЕДЕНИЕ ТЕПЛА

Жан Батист Жозеф Фурье — французский математик и физик, разработавший методы разложения периодических функций на сходящиеся ряды синусов и косинусов, известные как ряды Фурье. Ученый родился 21 марта 1768 года в Осере, в 22 года он поступил в Нормальную школу в Париже, его преподавателями были Лагранж и Лаплас. В 1802 году Наполеон назначил Фурье префектом департамента Изер, и в 1810 году он создал Гренобльский королевский университет. В 1817 году он вступил в Академию наук Франции, в 1823 году был принят как иностранный член в британское Королевское общество, а в 1826 году стал членом Французской академии. В своей знаменитой работе «Аналитическая теория тепла» ,

опубликованной в Париже в 1822 году, Фурье изучал проблему распространения тепла в телах с ограниченными размерами (сформулировав уравнения, по которым протекают эти процессы); кроме того, он изучал распространение тепла в бесконечных телах, развивая в этом контексте метод работы с тригонометрическими рядами.

Новая перспектива

Книга Фурье может считаться одной из основ физики. В то время природа тепла была неизвестна, знали только, что тепло можно сохранять, что одни вещества способны делать это эффективнее других и что оно течет от более теплых тел к более холодным, при этом перетекание происходит тем быстрее, чем больше разница температур, также скорость зависит от вещества, через которое проходит тепло. На основе этого эмпирического знания Фурье развил математическую теорию, описывающую распространение тепла. Слова самого ученого не оставляют места сомнениям: «Первопричины вещей нам неизвестны, но они подчинены простым и постоянным законам, которые могут быть открыты путем наблюдения, и изучение их составляет предмет натуральной философии. […] Цель нашего сочинения - изложить математические законы, которым следует этот элемент [тепло]. […] Я вывел эти законы на основании долгого изучения и внимательного сравнения ранее известных

фактов ». Эта перспектива сама по себе предполагала важный шаг вперед в экспериментальных науках, поскольку она открывала возможность изучать наблюдаемые явления, даже когда их основные причины скрыты от экспериментатора.

Томсон понял, в чем состояло заблуждение Келланда, и написал свою первую научную статью — она появилась в мае 1841 года и носила название «0 развитии функций в тригонометрических рядах согласно Фурье». Томсон оригинальным способом подтвердил выводы Фурье, прояснил ошибку Келланда, и его отец отправил работу издателю «Кембриджского математического журнала» — шотландскому математику Дункану Фракварсону Грегори. Через некоторое время сам лорд Кельвин вспоминал об этом так:

«Когда я написал свою статью (свою первую оригинальную статью), мой отец послал ее Грегори. Грегори недавно уступил Келланду в конкурсе за кафедру математики в Эдинбурге. Грегори решил, что статья довольно спорная, и отправил ее Келланду. С его стороны это было очень по-джентльменски - прежде чем включать статью в журнал, дать вначале просмотреть на нее Келланду. Тот ответил резко и даже с некоторым неудовольствием. Тогда мы с отцом пересмотрели работу и сгладили некоторые места, которые, возможно, задели Келланда. В этот раз он написал, что статья ему очень нравится, и был очень любезен. После этого работу напечатали».

Вне зависимости от помощи, которую Уильям мог получить от своего отца, чтение этой работы удивляет, особенно если иметь в виду, что Томсону в момент ее написания было всего 16 лет. Работа имеет абсолютно корректную структуру с точки зрения требований к научной статье, и это позволяет делать выводы о потенциале Томсона. Статья подписана инициалами P. Q. R. — похоже, чтобы сохранить инкогнито автора, который не хотел задеть профессора математики тем, что его работа ставится под сомнение безусым юнцом. В любом случае Келланд знал, кто автор работы, и они с Томсоном через какое-то время стали хорошими друзьями.

ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКИЕ РЯДЫ ФУРЬЕ

Предположим, что f(t) — периодическая функция с периодом T, как показано на рисунке 1. Речь идет о простой функции, которая выполняет это условие периодичности: функция повторяется до бесконечности через период T. Этот тип функций может быть выражен с помощью того, что в математике называют рядом Фурье, то есть суммой бесконечного числа членов, представляющих собой синусы и косинусы:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty}\left[a_k \cos\left(\frac{2\pi k}{T}t\right) + b_k \sin\left(\frac{2\pi k}{T}t\right)\right].$$

Коэффициенты этого ряда заданы

$$a_k = \frac{2}{T}\int_0^T d\alpha\, f(\alpha)\, \cos\left(\frac{2\pi k}{T}\alpha\right);$$

$$b_k = \frac{2}{T}\int_0^T d\alpha\, f(\alpha)\, \sin\left(\frac{2\pi k}{T}\alpha\right)$$

Теперь рассмотрим функции

$$S_{N_{max}}(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{N_{max}}\left[a_k \cos\left(\frac{2\pi k}{T}t\right) + b_k \sin\left(\frac{2\pi k}{T}t\right)\right],$$

которые получаются из ряда Фурье сложением до Nmax членов. Итак, наши новые функции представляют собой последовательные приближения к функции f(t) по мере увеличения значения Nmax. На рисунках 2-4 можно видеть функции, соответствующие значениям Nmax = 1, 3 и 5, — они нарисованы тонкой линией. Если сейчас мы обратим внимание на значения коэффициентов ak и bk ряда, то можно доказать, что в случае с интересующей нас функцией отличаются от нуля только коэффициенты $a_0 = A$ и $bk = = 2A/(k\pi)$, если k нечетное, где A — амплитуда функции f(t). То есть ряд Фурье имеет вид

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \frac{2A}{\pi}\sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) + \frac{2A}{3\pi}\sin\left(\frac{6\pi}{T}t\right) + \frac{2A}{5\pi}\sin\left(\frac{10\pi}{T}t\right) + \cdots$$

Как видно, в этом случае остаются только члены, включающие в себя синусы, в то время как все члены с косинусами равны нулю. Если сейчас мы вспомним, что

$$\sin\alpha = -\cos\left(\frac{\pi}{2}+\alpha\right),$$

то предыдущий ряд Фурье можно записать как

$$f(t) = \frac{a_0}{2} - \frac{2A}{\pi}\cos\left(\frac{2\pi}{T}t+\frac{\pi}{2}\right) - \frac{2A}{3\pi}\cos\left(\frac{6\pi}{T}t+\frac{\pi}{2}\right) - \frac{2A}{5\pi}\cos\left(\frac{10\pi}{T}t+\frac{\pi}{2}\right) - \ldots,$$

то есть в нем останутся только члены, включающие косинусы.

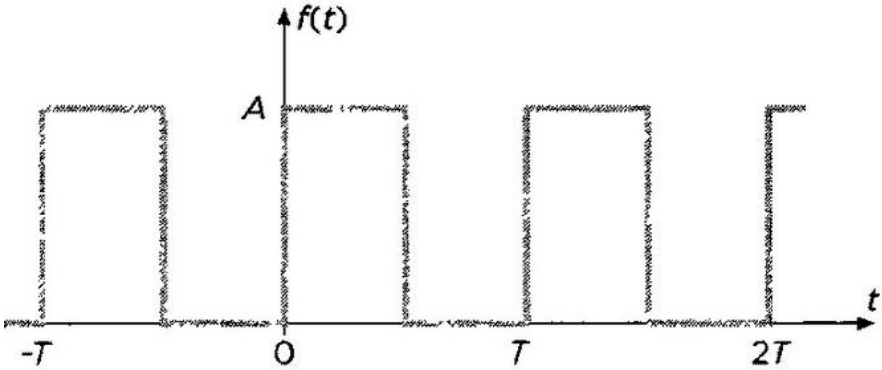


РИС 1

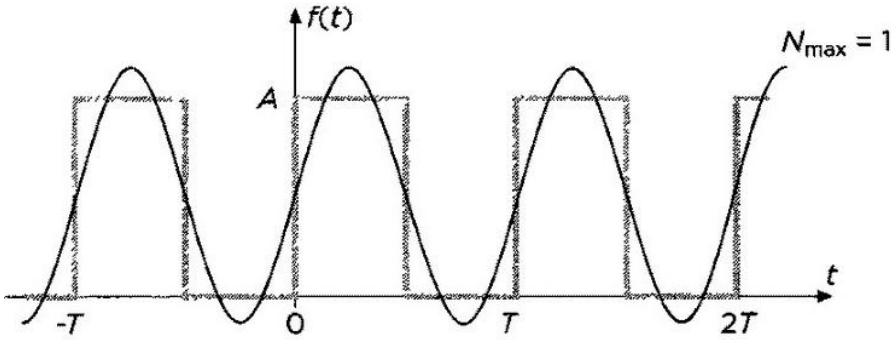


РИС 2

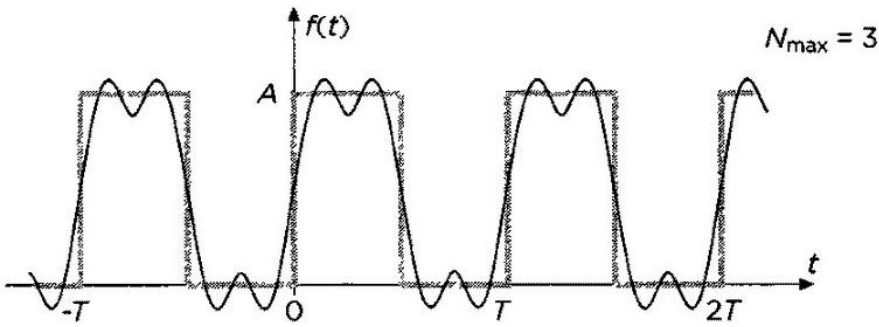


РИС 3

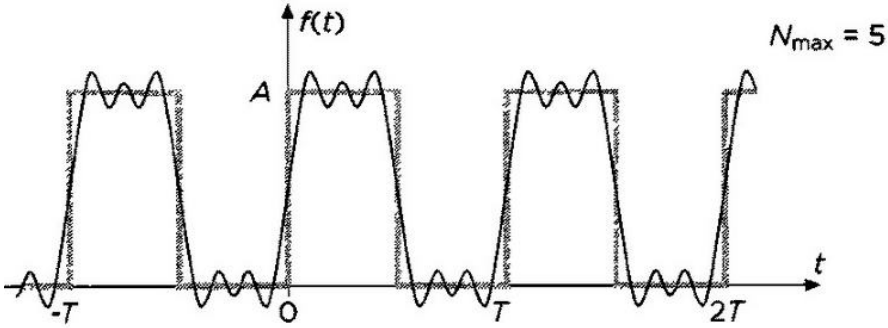


РИС 4

УЧЕБА В КЕМБРИДЖЕ

В конце октября 1841 года Томсон приехал в колледж святого Петра в Кембридже для получения математического образования. Однако интересы юноши не ограничивались наукой. Он способствовал созданию Кембриджского университетского музыкального общества и сам играл на трубе на первом концерте оркестра этой группы в декабре 1843 года. Также Уильям занимался греблей и входил в состав университетской команды на регате 1844 года.

Зная об этом, его отец опасался, что Уильям будет слишком отвлекаться от учебы, отдавая предпочтение спорту, музыке и другим развлечениям, доступным в Кембридже. Действительно, многие студенты университета участвовали в праздниках, находили друзей, заводили полезные связи, занимались спортом - словом, тратили время на что угодно, только не на учебу. В отличие от них, Томсону такой отдых помогал «прояснить разум», и об учебе юноша никогда не забывал.

Однако отец не терял бдительности и внимательно следил за тем, чтобы Уильям не сбился с пути истинного. Как-то раз юноша написал отцу, что приобрел подержанную лодку, однако в ответ получил выговор за то, что сделал это не посоветовавшись. Отец просил вернуть лодку владельцу и забрать уплаченные за нее деньги. Также в этом письме можно прочитать следующее:

«Мне кажется, я уже говорил тебе, чтобы ты время от времени присылал мне отчеты о своих расходах. Любое объяснение, кроме самых важных, может подождать до личной встречи. [...] Будь респектабельным, но экономным. [...] Ты молод: будь осторожен, как бы не пойти по неверному пути. Один ложный шаг

сейчас, одна приобретенная вредная привычка - и это может сломать всю твою жизнь. Думай о своем поведении как можно чаще и проявляй мудрость».

Однако Томсон очень хорошо воспользовался своим временем в Кембридже, и доказывает это его исследовательская деятельность в годы учебы. Несмотря на то что он был всего лишь студентом, Уильям опубликовал в «Кембриджском математическом журнале» 12 статей, большинство которых были посвящены физико-математическим методам, введенным Фурье с целью приблизить физику к экспериментально установленным фактам.

Так, в ноябре 1842 года Томсон опубликовал работу «0 линейном движении теша», в которой представил решение дифференциального уравнения, позволяющего определить поток тепла в теле бесконечного размера в любой момент времени. В 1843 году он опубликовал вторуючасть статьи, в которой рассматривал движение тепла внутри тела, находящегося в контакте с источником электрического тока. В 1844 году увидело свет другое его исследование по той же самой теме - «Примечание об одном из пунктов теории тепла Фурье». В этой короткой статье Томсон использовал ряд Фурье для объяснения движения тепла в сфере, а также ее охлаждения.

В этих статьях Томсон размышлял над решениями уравнения о переносе теплаДля отрицательного времени. Он понимал, что хотя распределение температур в теле с течением времени становится все более однородным (о чем говорил и сам Фурье), но если проанализировать то же самое распределение в обратном временном направлении, можно прийти к решениям, лишенным смысла, особенно если эти решения вычисляются для очень большого отрицательного времени. Другими словами, любое распределение температуры, наблюдаемое в данный момент, может иметь в качестве начального распределения только такое, при котором разница во времени между обоими распределениями конечна. Эти результаты Томсон использовал и в последующие годы: как мы увидим в главе 5, они легли в основу полемики о возрасте Земли, в которой он участвовал.

До этих статей, в феврале 1842 года, Томсон опубликовал еще один доклад, озаглавленный «0 равномерном тепловом движении в твердых однородных телах и его связи с математической теорией электричества», который стал его первой работой в области электромагнетизма. Статья была подготовлена в течение месяцев, предшествовавших приезду Томсона в Кембридж, и в ней молодой ученый провел важные аналогии

между явлениями распространения тепла и электрического тока, с одной стороны, и между изотермическими и эквипотенциальными поверхностями - с другой.

На эту работу его вдохновили два великих физика. Первым был Шарль Огюстен де Кулон (1736-1806), изобретший в 1777 году прибор для измерения силы, с которой два электрических заряда воздействуют друг на друга. Этот французский физик и инженер исследовал, как сила взаимодействия зависит от расстояния между зарядами, и в 1785 году сформулировал то, что сегодня известно как закон Кулона, устанавливающий, что взаимодействие между двумя электрическими зарядами прямо пропорционально произведению этих зарядов и обратно пропорционально квадрату расстояния, которое их разделяет.

Вторым физиком был британец Майкл Фарадей (17911867), считающийся основателем электромагнетизма и электрохимии. Его главный вклад в науку состоял в открытии электромагнитной индукции. Томсона заинтересовало понятие, введенное Фарадеем для того, чтобы наглядно представить силу, возникающую между электрическими зарядами, - силовые линии, с помощью которых можно описать то, что сегодня известно как электрическое поле.

Уильям заметил, что методы, разработанные Фурье для описания переноса тепла в твердых телах, могут применяться к взаимодействию зарядов, если только правильно определить задействованные в этом величины. В какой-то степени будущий лорд Кельвин смог понять, что распространение тепла в твердом теле понятийно близко тому, как электрическая сила течет через пространство, разделяющее заряды. В результате его расчетов фарадеевы силовые линии выглядели вполне естественно. В то время как закон Кулона позволял только подходить к простым проблемам, касавшимся точечных разрядов, применение Томсоном теории тепла Фурье помогало решать проблемы с распределением заряда более сложной геометрии.

ТРАЙПОС 1845 ГОДА

Отец Томсона хотел, чтобы его сын занял кафедру натуральной философии в Глазго. В конце 1843 года возглавлявшему ее профессору Мейклхему было уже более 70 лет, но Уильяму оставался еще один год учебы в Кембридже. Джеймс Томсон призывал сына ускорить обучение, поскольку состояние здоровья Мейклхема было таким, что он мог оставить должность в любой момент.

С другой стороны, в Университете Глазго существовало некоторое предубеждение против выпускников Кембриджа, которых считали теоретиками, ничего не понимающими в экспериментальной практике. В связи с этим Джеймс посоветовал сыну приобрести необходимый опыт в химической лаборатории, а также в очередной раз напомнил ему, что Уильям должен взрослеть и придерживаться соответствующего поведения:

«Ты должен сформировать свой характер в целом и в научном смысле, чтобы ректор, декан и остальные выборщики, с которыми я обычно взаимодействую, имели основание поддержать тебя, что, с учетом твоей молодости, представляет некоторые сложности».

Однако Уильям видел свое ближайшее будущее другим: он хотел заниматься чистой наукой - например, провести некоторое время во Франции, изучая работы исследователей, которые так сильно повлияли на его видение физики.

ВКЛАД ФАРАДЕЯ

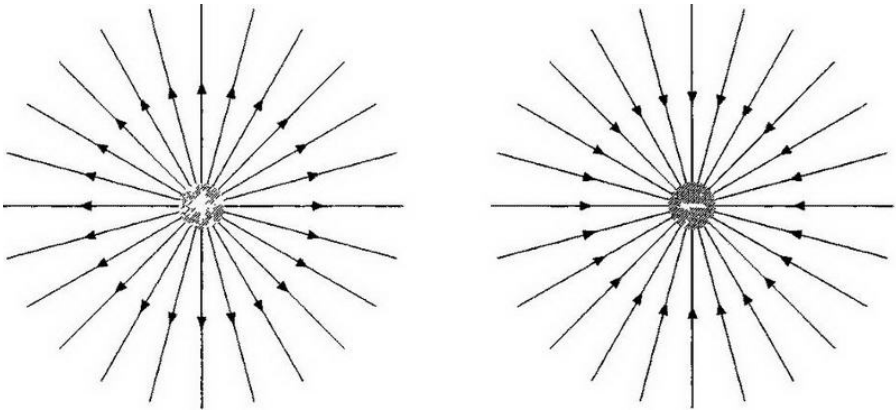
Майкл Фарадей — английский исследователь, который сделал основополагающий вклад в развитие электромагнетизма и электрохимии. Он родился в Ньюингтон-Батсе (Англия) 22 сентября 1791 года и был третьим из четырех детей кузнеца Джеймса Фарадея.

Как и его братья, Майкл смог получить только базовое школьное образование, однако в 1812 году он посещал лекции английского химика Гемфри Дэви, после чего составил толстую книгу заметок и идей, которую отправил знаменитому лектору. Тот сразу же предложил Фарадею должность своего секретаря. Через некоторое время Дэви предоставил юноше место химика-ассистента в лондонском Королевском институте. В 1824 году Фарадей был избран членом Королевского общества. В 1833 году его наставник, филантроп Джон Фуллер, создал кафедру Фуллера в Королевском институте, и Фарадей был ее первым членом, оставаясь на этой должности до конца дней. В 1838 году он был избран членом Академии наук Швеции, а в 1844 году-Франции. В области химии Фарадей разработал степени окисления, являющиеся базовыми в химической формулировке, открыл бензол и одним из первых начал использовать такие термины, как анод, катод, электрод и ион.

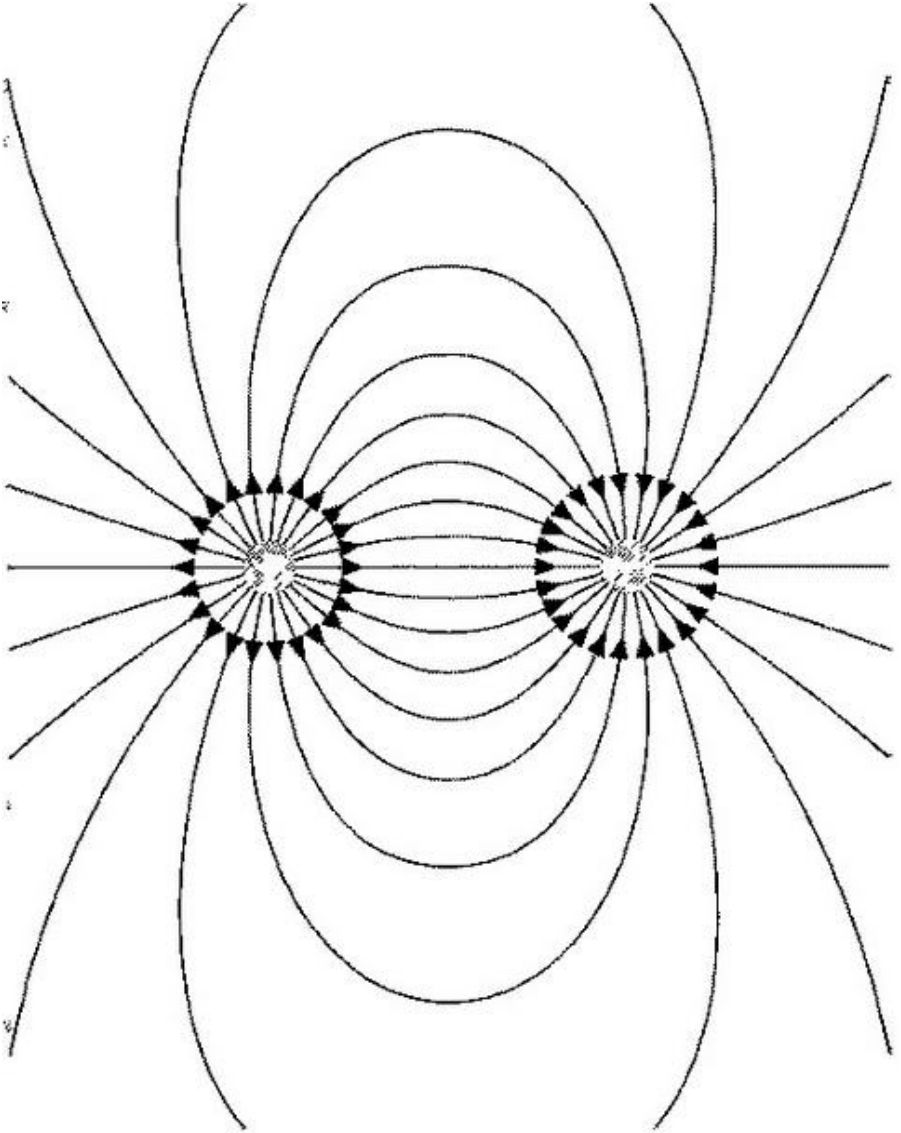
Портрет Фарадея кисти Томаса Филлипса, 1842 год.

Электромагнитные эксперименты

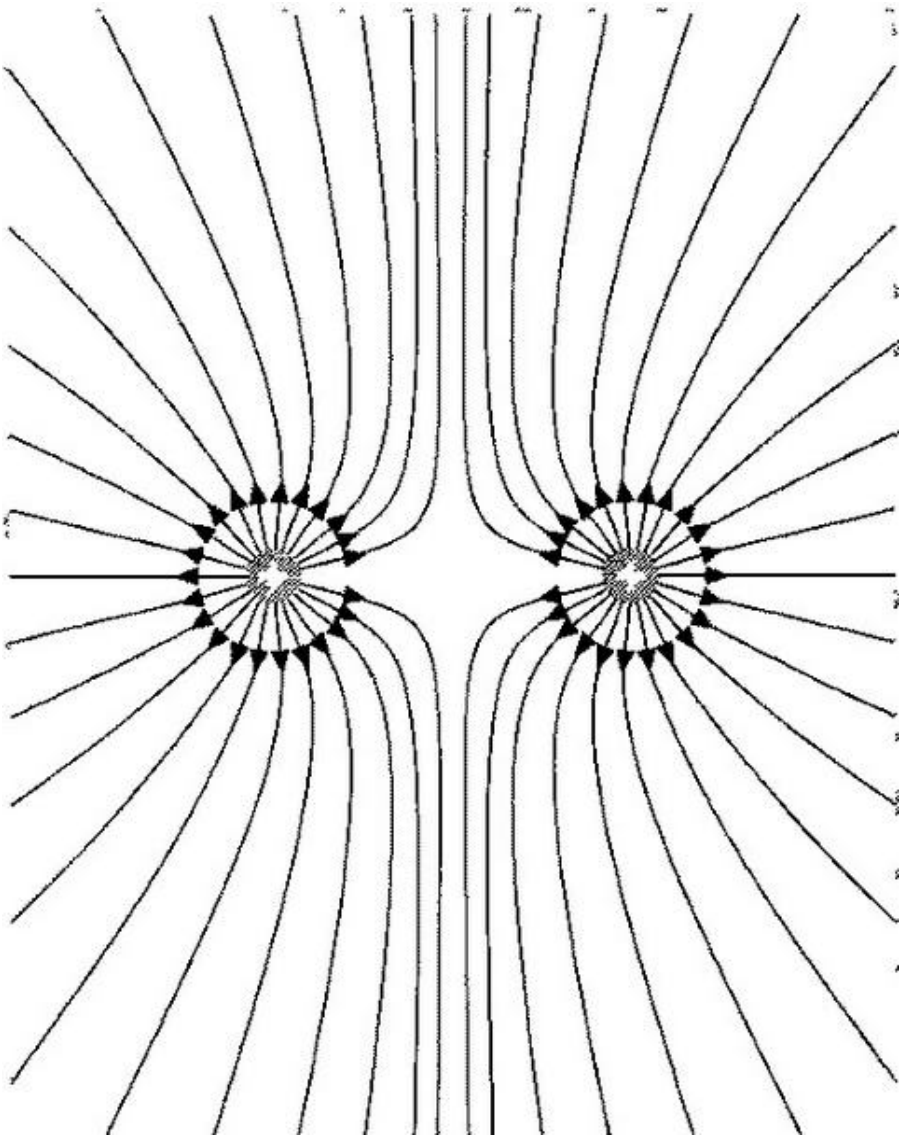
Основные работы ученого проведены в области электромагнетизма, особенно выделяется открытие электромагнитной индукции на основе ряда экспериментов, начатых в 1831 году. Согласно этому физическому явлению, когда проводник в состоянии покоя находится в переменном магнитном поле, появляется ток, который течет по этому проводнику; то же самое происходит, когда, наоборот, проводник движется в статичном магнитном поле. Несмотря на скудное математическое образование, Фарадей был способен догадаться о понятии, сегодня известном как электрическое поле. Он наглядно представил действие силы, которая наблюдается между электрическими зарядами, с помощью так называемых силовых линий, позволяющих показать изменение пространства под воздействием электрического заряда (на рисунках показаны различные отношения между линиями электрического поля). Многие считают Фарадея лучшим экспериментатором в истории. В его честь единица измерения электрической емкости в Международной системе единиц называется «фарад».



Изолированные положительный и отрицательный заряды



Положительный и отрицательный заряды



Два положительных заряда

То ли из- за давления отца, то ли из страха Томсон засомневался в том, что сможет осуществить карьеру ученого и серьезно задумался (по крайней мере, так он говорил своим друзьям) о том, чтобы стать адвокатом. Тогда он много времени посвящал и литературе, оставив на некоторое время учебу. «Я прочитал некоторые стихотворения Шекспира, - писал он, - и мне этого было достаточно, чтобы захотеть читать больше». Это замечание показывает, насколько захватила Уильяма эта новая, еще неведомая ему сфера.

Есть еще много вещей, которые будут против тебя, если только ты не сможешь показать своих знаний об операциях экспериментальной философии.

Джеймс Томсон своему сыну Уильяму

К счастью, приближался трайпос — экзамен по математике, длившийся несколько дней, в течение которых студенты подвергались различным испытаниям. (Считается, что экзамен получил это название благодаря неудобиому трехногому стулу — tripod, — на котором сидели экзаменуемые.) Для успешной сдачи требовалась специальная подготовка, и Уильям был вынужден вернуться к математике.

Участие Томсона в трайпосе 1845 года — возможно, один из самых известных эпизодов в его жизни. Все его товарищи были уверены, что он получит первое место и титул старшего спорщика, который присваивается победителю. Отец Уильяма, в свою очередь, также был заинтересован в том, чтобы тот был первым, поскольку считал, что этот результат поможет сыну получить кафедру натуральной философии в Глазго. Томсон не только рассчитывал на собственные способности, но и полагался на неоценимую помощь преподавателя математики Уильяма Хопкинса, который был одним из лучших репетиторов по трайпосу. Сам Хопкинс в 1827 году занял всего лишь седьмое место, но в 1849 году среди его учеников было уже 17 старших спорщиков. Победителями трайпоса были Джордж Габриэль Стокс в 1841 году и Джон Уильям Стретт (лорд Рэлей) в 1865-м. Последний получил Нобелевскую премию по физике в 1904 году. Однако, например, физики Джеймс Клерк Максвелл и Джозеф Джон Томсон (обладатель Нобелевской премии 1906 года) получили только второе место в 1854 и 1880 годах соответственно.

В 1845 году Уильям уступил на экзамене Стивену Паркинсону, студенту колледжа святого Иоанна. Томсон получил титул второго спорщика, который предоставлялся кандидатам, занявшим второе место. Его уверенность в себе и убежденность в победе были так велики, что, как рассказывают, Уильям послал друга посмотреть, кто получил второе место, и удивился, когда тот, вернувшись, сообщил, что вторым оказался сам Томсон. Однако через какое-то время юноша признал, что и вправду ответил не лучшим образом, поскольку слишком увлекся одним из заданий. Томсон вспоминал об этом эпизоде следующим образом:

«Паркинсон был лучшим в первые два дня экзамена, когда

нужно был0 решать упражнения из учебника, а не задачи, требовавшие аналитического исследования. Я должен был улучшить результат в последние два дня, но этого не произошло, [...] и я едва ли смог получить хорошие оценки. Я потратил почти все время на особенно заинтересовавшую меня задачу. Она касалась волчка, который падает на твердую поверхность. Это очень простая задача, если подойти к ней нужным способом, но я запутался, потратил на нее много времени и написал что-то не очень подходящее, и у меня не осталось времени на другие вопросы [...]. Достойный человек Паркинсон (с которым я не был знаком тогда лично) заранее учился хорошо отвечать на экзаменах, в то время как у меня в течение предыдущих месяцев в голове были другие темы, о которых нас не спрашивали: теория тепла, тепловой поток между изотермическими поверхностями, зависимость потока от предыдущего состояния и все эти вещи, которым я выучился у Фурье».

Практически сразу после трайпоса Томсон смог «отомстить» Паркинсону, разбив его на испытаниях премии Смита — экзамене, где больше ценилась способность к пониманию и анализу, а не скорость решения задач, при этом сами задачи касались физики и математики, а не математических методов,как в трайпосе. Один из наставников Томсона, Генри Куксон, написал его отцу:

«Я видел, как Вашего сына переполняет счастье. [...] Некоторые задаЧи экзамена на премию Смита были сложнее, чем те [которые были в трайпосе], и требовали более глубокого и философского видения тем. Именно этому следует приписывать успех Вашего сына».

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА В ПАРИЖЕ

В возрасте 21 года Томсон уехал в Париж. Он прибыл в столицу Франции 30 января 1845 года в сопровождении своего друга Хью Блэкберна (1823-1909), шотландского математика, который со временем заменил отца Уильяма на кафедре математики Университета Глазго. Целью этой поездки была работа в лаборатории Анри Виктора Реньо (1810-1878) - химика и физика, который в то время исследовал для французского правительства физико-химические свойства газов. Реньо изучал такие проблемы, как коэффициент расширения при определенной

температуре или количестве тепла, требующемся для поднятия этой температуры на некоторое число градусов. В то время ученые пытались экспериментально получить информацию, необходимую для повышения эффективности паровых машин. Дополнительным преимуществом этих экспериментальных исследований было значительное развитие термодинамики, которая получила теоретико-экспериментальную базу.

Любопытно отметить различия между Великобританией и Францией в экспериментальных исследованиях в этой области. В Великобритании, где паровая машина была разработана в конце XVIII века, исследования независимо друг от друга проводили изобретатели и ученые. Во Франции же политики сразу осознали, какое стратегическое значение это изобретение может иметь для технологического развития, и выделили средства на его изучение. Заслуга французского правительства была еще больше, чем кажется на первый взгляд, если учесть, что в то время знание об основных законах поведения пара было очень скудным. Действительно, это хороший пример для современных политиков, часто слишком неуступчивых в вопросах финансирования базовых исследований, которые рано или поздно могли бы способствовать процветанию страны.

Как уже было сказано, отец Томсона считал, что экспериментальное обучение необходимо его сыну для получения кафедры в Глазго, и пребывание в Париже позволяло восполнить этот пробел в теоретическом образовании Уильяма. Возможно, нескольких месяцев, проведеиных в столице Франции, не хватило для того, чтобы молодой Томсон понял все тонкости лабораторной работы, но по крайней мере это связало его с экспериментальной физикой и химией и позволило ему приобрести знания в области теоретического применения этих дисциплин и в инженерном деле, что сильно повлияло на его последующую карьеру. Отец постоянно подталкивал сына:

«Я думаю, что с трубкой в руках или работая с компрессором, ты должен двигаться вперед, используя все средства лаборатории Реньо. Ты должен увидеть, какие там есть инструменты, и составить их список, если сможешь. Кроме того, любое его свидетельство [...] по практическим вопросам очень тебе пригодится».

Томсон принимал участие в исследованиях, которые велись в лаборатории. Один из важных экспериментов был связан с определением плотности газов, в нем взвешивались два больших шара: один наполненный газом, другой - пустой. Уильям отвечал

за работу вакуумного насоса. В другом эксперименте речь шла об определении скрытой теплоты системы, как называют в физике энергию, поглощаемую или высвобождаемую системой, когда она погружена в процесс, при котором не происходит никаких изменений температуры. Самый известный пример процессов этого типа - фазовый переход (таяние льда или превращение воды в пар при кипении). Работа Томсона заключалась в том, чтобы контролировать работу калориметра.

Уильям всегда вспоминал эти месяцы, проведеиные в Париже. Они превратили его из специалиста по математической физике в ученого, способного ценить эксперимент так же высоко, как и теорию. Через некоторое время, когда Томсон уже был профессором в Глазго, это новое видение науки заставляло его уделять особое внимание экспериментальному образованию студентов-физиков.

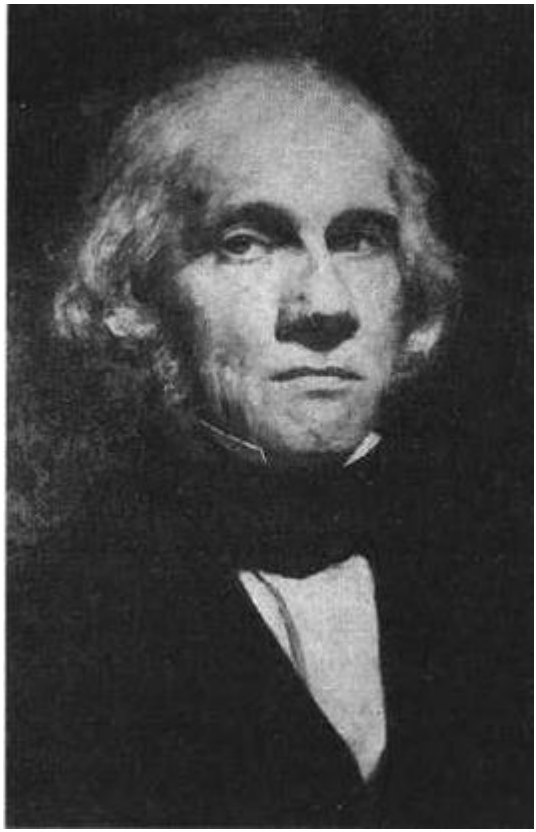
Но его интерес к математической физике не уменьшился. Уильям записал в своем дневнике 15 марта 1845 года:

«Я был занят весь день в физической лаборатории Реньо в Коллеж де Франс. В свободное время читал доклады Пуассона об электричестве, которые нашлись среди докладов института на полке у Реньо».

Хотя большинство великих математиков и физиков, которые вдохновили Томсона за несколько лет до этого, уже скончались, в Париже он встретился с некоторыми выдающимися учеными страны. Он познакомился, среди прочих, с физиком и астрономом Жан-Батистом Био, математиками Огюстеном Луи Коши, Мишелем Шалем и Жаком Шарлем Франсуа Штурмом, физиком Жаном Бернаром Леоном Фуко. Но самые близкие отношения у него сложились с Жозефом Лиувиллем, издателем «Журнала чистой и прикладной математики». Лиувилль работал в различных областях математики и также сделал значительный вклад в математическую физику. За те несколько месяцев, что Томсон жил в Париже, они стали очень большими друзьями и постоянно обсуждали физику и науку в целом.

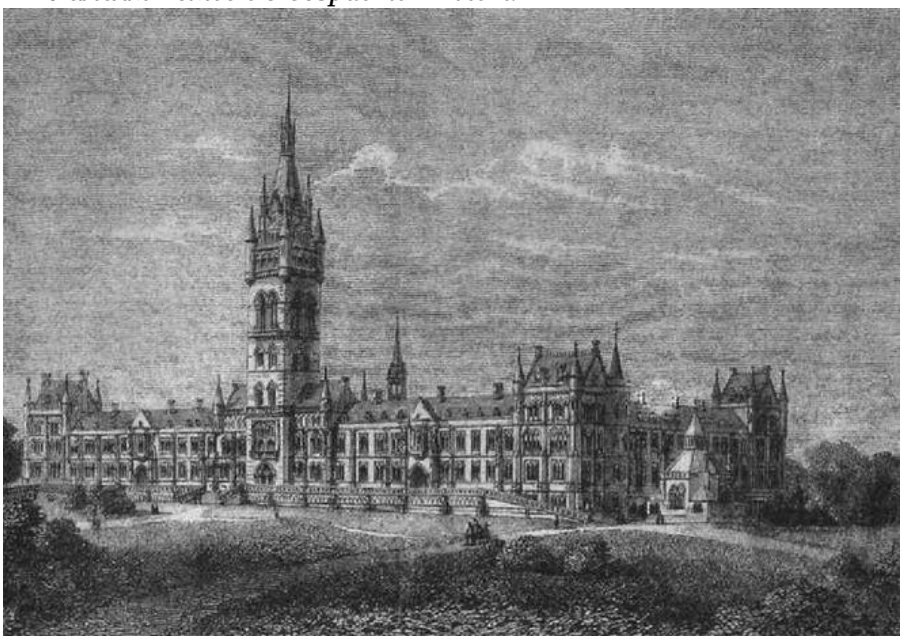
Один из первых вопросов, которые Лиувилль поставил перед Томсоном, побудил последнего вновь вернуться к проблеме понятийных различий между законом Кулона и моделью силовых линий Фарадея. Издатель, как и другие его французские коллеги, не понимал, как можно объединить оба представления о взаимодействии электрических зарядов. Согласно закону Кулона, сила, возникающая между двумя зарядами, обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними, что

предполагает взаимодействие по соединяющей их прямой линии. Для Фарадея взаимодействие между зарядами происходит по силовым линиям — кривым, наполняющим пространство вокруг себя.



Портрет Джеймса Томсона, отца Уильяма.

Уильям Томсон в возрасте 22 лет.



Немецкая гравюра 1873 года, посвященная Университету Глазго, где лорд Кельвин учился и занимал должность профессора.

ПАРОВАЯ МАШИНА

Паровая машина лежала в основе промышленной революции, произошедшей в Англии в конце XVIII века, а затем и в остальных странах Западной Европы, а также США. Возможно, это период самых глубоких социальных, экономических, технологических и культурных изменений в истории. Важность паровой машины заключалась, без сомнения, в том, что она использовалась как в промышленности, так и на транспорте. Схема ее работы показана на рисунке 1 — она очень проста. Сначала с помощью любого топлива нагревается до кипения вода; затем пар проходит через поршень, который, используя давление пара, приводит в движение зубчатый механизм, производящий энергию, необходимую для работы любого механического устройства. Как только пар выполнил свою функцию, он выходит из устройства и охлаждается в конденсаторе, превращаясь в воду и возвращаясь в котел.

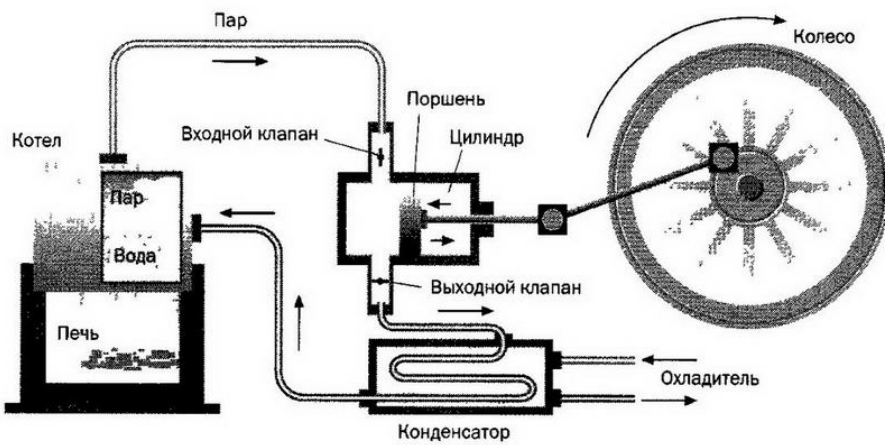


РИС 1

Предшественники

Первое механическое изобретение, основанное на свойствах пара, показано на рисунке 2. Этоэолипил, изобретенный Героном Александрийским в I веке. Он состоял из металлического шара, закрепленного на оси, позволяющей

ему вращаться. К шару были подсоединены две кривые трубки, находящиеся друг напротив друга. После закипания воды в емкости пар выходил через трубки и заставлял шар вращаться. Османский ученый Такиюддин аш-Шами в 1551 году, испанский изобретатель Херонимо деАянс-и-Бомон в 1606 году и итальянский инженер и архитектор Джованни Бранка в 1629 году также разработали устройства, основанные на производстве пара. В 1690 году французский физик и математик Дени Папен был первым, кто приспособил к одному из этих аппаратов поршень, а в 1698 году английский изобретатель Томас Севери первым начал продажу насоса для выкачивания воды, работа которого также основывалась на свойствах пара. Британский кузнец Томас Ньюкомен в 1712 году, немецкий ученый Якоб Леупольд в 1720 году и английский инженер-строитель Джон Смитон в 1789 году способствовали значительному прогрессу, результатом которого стали работы шотландского математика и инженера Джеймса Ватта, сконструировавшего в 1763-1775 годах машину, которая произвела революцию в промышленности.

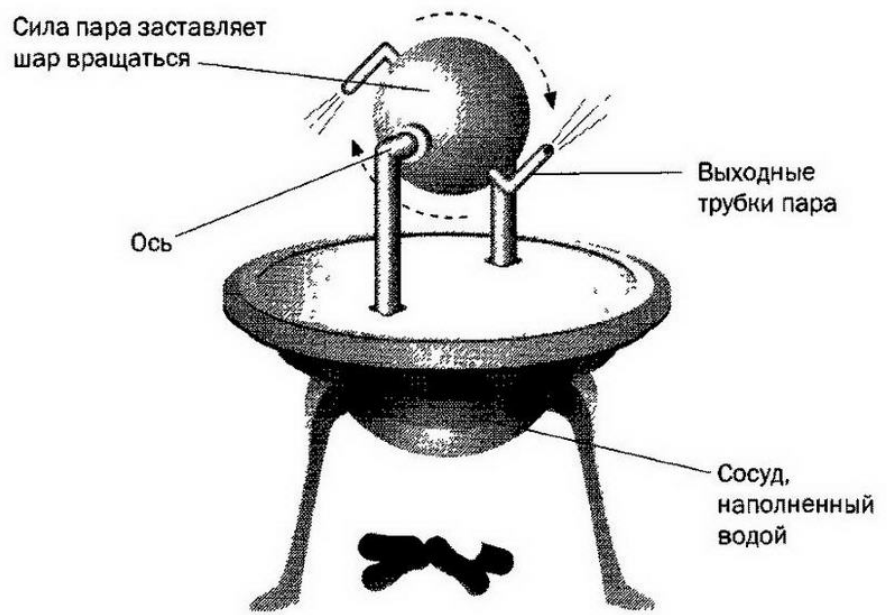


РИС 2

Франция — это, без сомнения, альма-матер моей научной молодости и источник восхищения красотой науки, которое влекло и вело меня в течение всей моей карьеры.

Уильям Томсон в речи, произнесенной в связи с вручением ему ордена Почетного легиона в 1881 году

Лиувилль попросил Томсона написать статью, проясняющую этот вопрос, и тот смог доказать, что между обоими представлениями об электрической силе нет противоречий. В случае с двумя взаимодействующими зарядами, как доказал Томсон, силовые линии располагаются симметрично вокруг прямой, соединяющей оба заряда, так что интенсивность силы, возникающей между ними, определяется законом Кулона. В случае взаимодействия с более сложной геометрией также нет никаких расхождений. С кулоновской точки зрения итоговое взаимодействие задано суммой взаимодействий между парами зарядов. Согласно Фарадею, каждый из этих отдельных зарядов производит помеху в пространстве, которая представлена силовыми линиями, так что сила, действующая на каждый заряд, связана с этой помехой.

В этой работе Уильям также подошел к специфической проблеме вычисления распределения электричества, производимого бесконечно распространенной проводящей плоскостью и электрическим зарядом, расположенным вблизи этой плоскости. Он решил эту задачу тремя разными способами и послал их Лиувиллю. В первом способе он воспользовался методом, введенным английским физиком и математиком Джорджем Грином (1793-1841), о котором впервые узнал из работы британского математика Роберта Мерфи (1806-1843), появившейся в 1832 под заглавием «об обратном методе определенных интегралов». До отъезда в Париж Уильям безуспешно искал работу Грина «Очерк о применении математического анализа к теориям электричества и магнетизма», которая была опубликована в 1828 году. К его удивлению, преподаватель математики Уильям Хопкинс, готовивший его к трайпосу, подарил ему в день отъезда во Францию два экземпляра книги Грина.

В Париже Томсон узнал, что и там найти работу Грина непросто, поэтому подарил один из своих экземпляров Лиувиллю. При этом он восхитился Грином и Фурье и поделился с другом своими идеями о тождестве между тепловым потоком и электричеством. С этой работой Грина связана забавная история. Однажды вечером, вскоре после приезда Томсона в столицу Франции, в его квартире появился Штурм и воскликнул: «У вас есть работа Грина - мне об этом сказал Лиувилль!» Уильям дал Штурму книгу, и французский математик провел в его доме несколько часов, изучая работу. При этом Штурм выяснил, что Грин за несколько лет до него сформулировал некоторые наиболее важные теоремы, доказанные французом.

Во второй части доклада для Лиувилля Томсон, чтобы получить соответствующие итоговые формулы, использовал известные ему методы Фурье. В третьей он применил оригинальный способ решения — так называемый метод изображений, который используется для решения самых разных задач, не только в области электромагнетизма. Этот метод вертелся у него в голове еще до выезда из Кембриджа, и в итоге он сформулировал его в первые недели пребывания в Париже.

Также Томсон установил аналогию между проблемой, которую он изучал, и другой, из сферы оптики. Предположим, что источник света, например лампочка, находится перед плоским зеркалом бесконечных размеров с отличной отражающей способностью. Лампочка отражается в зеркале, при этом создается ощущение, что внутри зеркала существует другая лампочка, аналогичная исходной, и она расположена на том же расстоянии от его поверхности, что и настоящая лампочка - от поверхности зеркала (см. рисунок 1 на следующей странице). Свет, достигающий любой точки перед зеркалом, как точка P на рисунке, — это свет, идущий от настоящей лампочки, плюс свет от ее отражения. Это количество света будет совпадать с количеством, которое приходило бы в точку P, если бы мы убрали зеркало и поставили бы в то место, где находилось отражение, другую лампочку, как схематично показано на рисунке 2.

Вспомним, что Томсон анализировал проблему заряда, расположенного вблизи проводящей плоскости, как показано на рисунке 3. Ученый заметил, что распределение электричества справа от проводящей плоскости (показано на рисунке с помощью силовых линий) совпадает с распределением, которое произошло бы от двух равных зарядов, но с противоположным знаком, если плоскость убрать. Таким образом, проводящая плоскость ведет себя как зеркало. Единственная разница в том, что заряд, который надо поместить в положение зеркального отражения, должен иметь противоположный знак. Как видно на рисунке 4, силовые линии справа от того места, где была расположена проводящая плоскость, совпадают с силовыми линиями на рисунке 3.

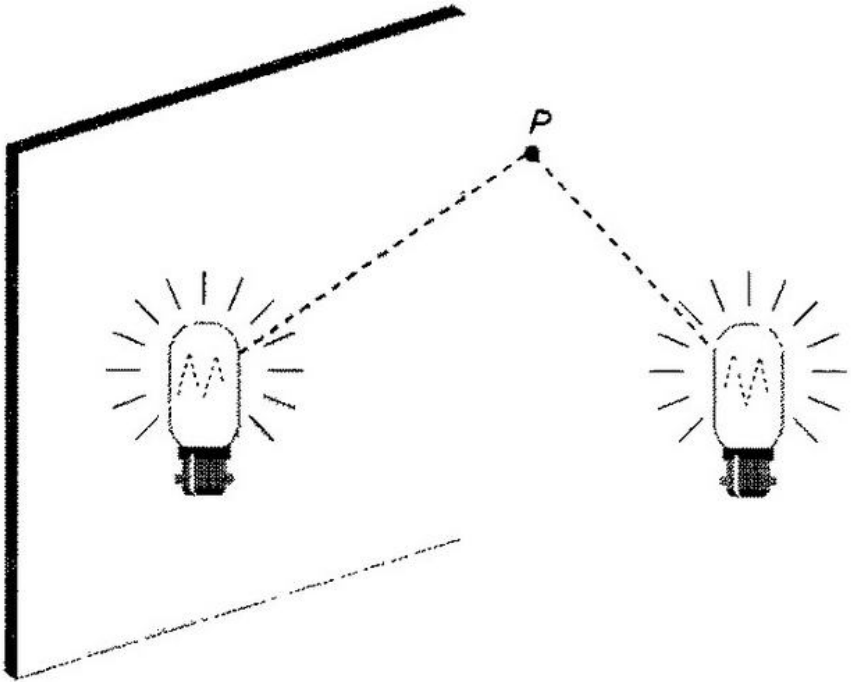


РИС 1

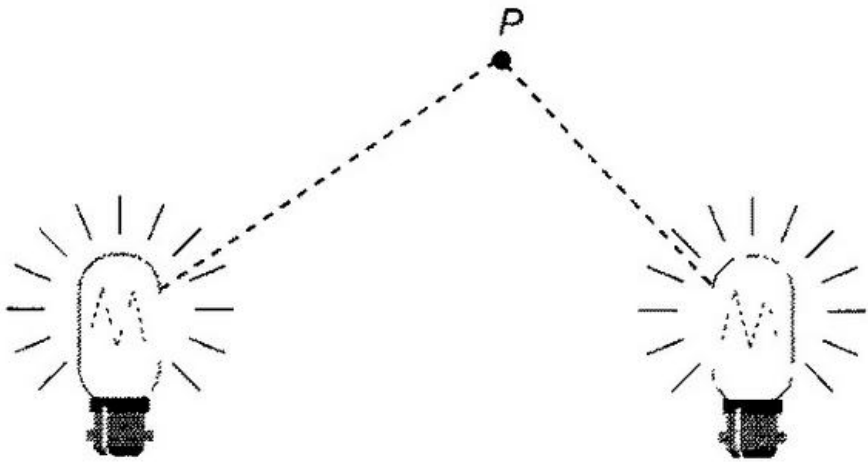


РИС 2

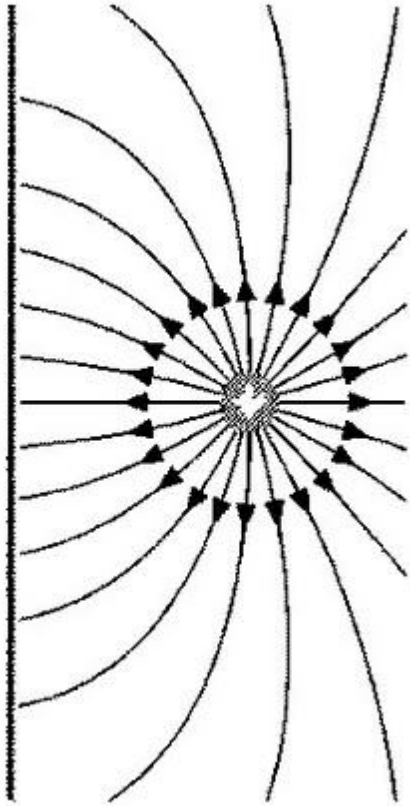


РИС 3

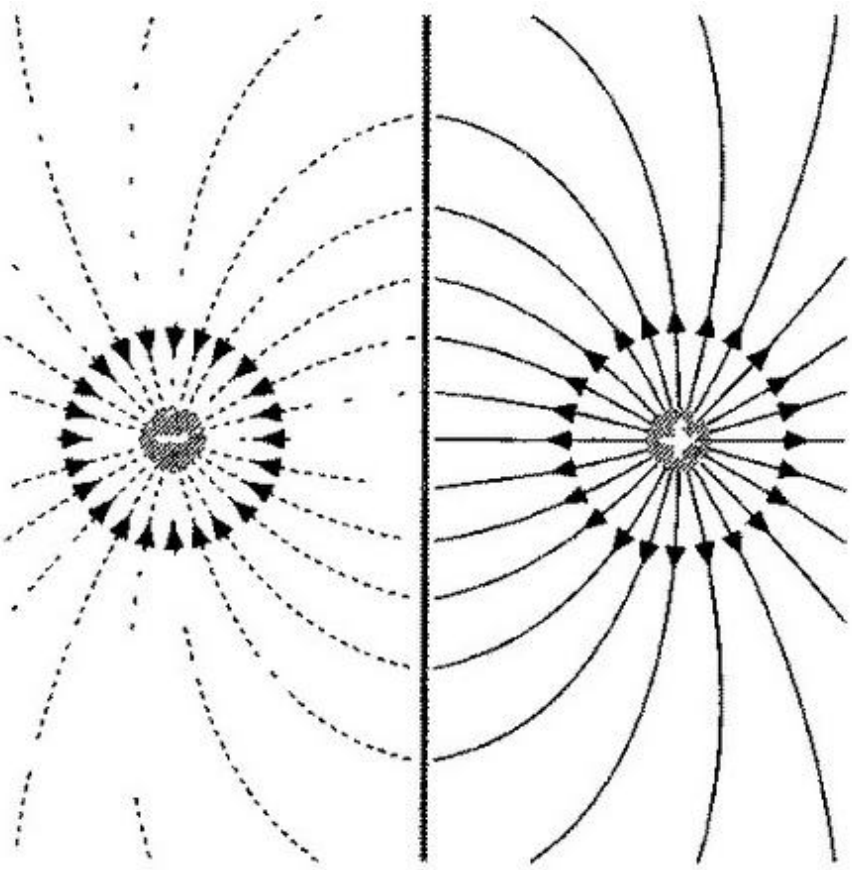


РИС 4

Этот метод позволяет рассматривать довольно сложные проблемы и может использоваться в других ситуациях, связанных со взаимодействием двух заряженных сфер. В этом случае можно заменить одну из сфер «отражением» второй, учитывая, естественно, различия, которые возникнут, если не рассчитывать на плоское «зеркало» (например, размер отражения относительно исходной сферы может измениться). Снова, как и во многих других случаях до и после этого, междисциплинарность — проведение аналогий между фактами, принадлежащими разным дисциплинам, — дала невероятные результаты.

До возвращения в Кембридж Томсон имел возможность познакомиться с работой ученых, пользовавшихся авторитетом в термодинамике. Параллельно с экспериментами в лаборатории Реньо он прочитал работу французского инженера и физика Эмиля Клапейрона (1799-1864), озаглавленную «0 движущей cWte теплоты», она была опубликована в 1834 году. В этой работе был описан понятным для физиков образом так называемый цикл

Карно, уже известный инженерам. Сади Карно (1796-1832) был первым французским инженером, изучавшим термодинамические процессы. В 1824 году он опубликовал свои «Размышления о движущей сше огня и о машинах, способных развивать эту сплу», которые стали одной из главных работ в физике XIX века.

Как и в случае с другими публикациями того времени, найти экземпляр работы Карно было сложно, и Томсону не удалось достать его. Он сам рассказывал о безуспешном поиске:

«Я заходил во все известные книжные магазины, спрашивая «Движущую силу огня» Карно. «Кайно? Я не знаю этого автора». С большой сложностью мне удалось объяснить, что там «р», а не «й». «А! Ка-ррр-но! Да, вот его работа», — на самом деле это была книга, посвященная какому-нибудь социальному вопросу и написанная неким Ипполитом Карно [французским политиком, братом Сади]; а «Движущая сила огня» была довольно неизвестной книгой».

Только три года спустя Уильям смог раздобыть экземпляр статьи Карно, и благодаря работе Томсона этот ученый, наряду с Клапейроном, получил признание научного сообщества.

САДИ КАРНО И ТЕРМОДИНАМИКА

Французский инженер Сади Карно сегодня известен как один из основателей термодинамики. Он родился в Париже 1 июня 1796 года и умер 24 августа 1832 года, став жертвой эпидемии холеры, охватившей город.

Карно учился в Политехнической школе в Париже и после краткого периода службы в армии Наполеона продолжил учебу в Парижском университете и в Коллеж де Франс, интересуясь промышленным применением теории газов и паровых машин. В 1824 году он опубликовал работу, которая оказалась основополагающей для открытия второго начала термодинамики. В этом тексте, озаглавленном «Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу», Карно изложил научные основы работы тепловых машин. Его главным изобретением была машина Карно — идеальная тепловая машина, принцип действия которой основывается на переносе тепла между двумя полюсами различной температуры (нагревателем и холодильником) через посредник в виде идеального газа, что позволяет

осуществлять механическую работу. Карно сформулировал две теоремы, имеющие большое теоретическое и практическое значение: согласно первой, не существует никакой тепловой машины, имеющей большую производительность, чем машина Карно, при использовании двух одинаковых полюсов температуры; согласно второй, при условии равенства температур нагревателей и холодильников двух тепловых машин большую производительность имеет машина с обратимым циклом. Работа Карно была забыта, пока ее не возродили сначала Клапейрон, а затем Томсон.

ВОЗВРАЩЕНИЕ В КЕМБРИДЖ

В конце апреля 1845 года Томсон вернулся в Кембридж, где стал преподавателем (фелло) колледжа святого Петра. Отец с радостью поздравил сына с удивительными успехами в столь раннем возрасте. Так, Томсон-старший сказал ему:

«В твоем возрасте я преподавал восемь часов в день для доктора Эдгара [учителя в маленькой сельской школе в Баллинахинче (Северная Ирландия), где Джеймс Томсон работал ассистентом], а в дополнительные часы, часто усталый и полный

апатии, читал по-гречески и на латыни, чтобы подготовиться к поступлению в колледж, что и произошло спустя почти два года».

В июне в Кембридже состоялось собрание Британской ассоциации развития науки. У Томсона появилась возможность встретиться с Фарадеем, работы которого были ему знакомы, и хотя между учеными существовало некоторое недопонимание, они поддерживали научные контакты. Фарадей в то время искал ассистента, однако он не предложил Томсону эту должность. Фарадею было сложно оценить математическую сторону разработок Томсона - с подобным отношением как-то столкнулся и Максвелл, которому Фарадей написал:

«Разве невозможно, чтобы, когда математик, изучающий физические действия и эффекты, доходит до выводов, они были выражены на обычном языке, со свойственной ему полнотой, ясностью и строгостью, так же как это происходит с математическими формулами? Если бы вы могли это делать, неужели это не было бы огромным подарком таким, как я? Надо перевести эти термины с языка иероглифов, которым они выражены, чтобы можно было экспериментально работать с ними. Я действительно думаю, что это необходимо».

На том собрании Томсон представил работу, в которой предлагал решение задачи с двумя круглыми заряженными проводниками, взаимодействующими между собой. Итак, он вернулся к тем же вопросам, что поднимал в работах, написанных для Лиувилля, но теперь речь шла о новом интересующем его аспекте.

В 1834 году Уильям Сноу Харрис (1791-1867), врач и исследователь, интересующийся электрическими свойствами материалов, провел серию экспериментов, связанных с электричеством высокого напряжения. Как и Томсон спустя несколько лет, Харрис в 1835 году получил за эти работы медаль Копли от Королевского общества. Одним из вопросов, который его интересовал, были искры, проскакивающие между двумя достаточно близко расположенными проводниками. Томсон показал, что этот факт может служить для установления — в определенных пределах — абсолютного уровня силы электрического тока, и это может быть объектом более детального исследования. Ученый вновь настаивал на том, что, исходя из закона Кулона, законы Фарадея могут определяться как теоремы, которые можно вывести с использованием простых методов математического анализа, разработанных Грином.

Томсон в своей работе также столкнулся с необходимостью экспериментировать с диэлектрическими материалами. Эти материалы — плохие проводники и могут использоваться как изоляторы, но, в отличие от последних, в них можно вызвать внутреннее электрическое поле, если поместить их в другое электрическое поле. Томсон был заинтересован в изучении эффектов, которые могли бы возникнуть при движении подобных материалов и их взаимодействии с поляризованным светом.

Фарадей изложил Томсону свои аргументы и сообщил ему об отрицательных результатах экспериментов: он не заметил между диэлектриками никакого притяжения и не добился никакого взаимодействия диэлектриков с поляризованным светом. Но это не отбило у Томсона желания продолжать исследования.

Сразу же по возвращении в Кембридж у молодого преподавателя появилось значительное число учеников. Летом он занимался с некоторыми из них и в итоге признался своему отцу, что у него «столько учеников, сколько можно пожелать». Также Уильям начал преподавать в колледже. Частные занятия обеспечивали ему более чем достаточный доход, а через некоторое время к нему добавилось и жалование в колледже. Однако эта деятельность требовала постоянного присутствия Томсона в Кембридже, поэтому когда отец заговорил с ним о возможности занять должность преподавателя математики в средней школе Глазго, Уильям отказался: в Кембридже его ждала более интересная со всех точек зрения работа. И все же через некоторое время он решил вернуться к семье, в Глазго.

ГЛАВА 2
Томсон и законы термодинамики

В 1846 году, в возрасте 22 лет, Уильям Томсон, к радости отца, получил кафедру натуральной философии Университета Глазго. Занять эту должность ему помогли научный авторитет и опыт, полученный в Кембридже и Париже. В течение двух следующих десятилетий Томсон вел огромную исследовательскую и преподавательскую деятельность и даже произвел частичную революцию в образовании.

Он принял участие в формулировке начал термодинамики и оставил глубокий след в науке.

Когда в октябре 1846 года Уильям Томсон стал профессором кафедры натуральной философии Университета Глазго, он присоединился к группе четырех других Томсонов, занимавших в то время посты в этом учреждении. Кроме его отца, Джеймса, который был профессором математики, в университете работали Томас Томсон - королевский преподаватель химии, Аллеи Томсон - королевский преподаватель анатомии и Уильям Томсон - преподаватель медицины. Последний и Джон Никол, королевский преподаватель астрономии, активно помогали Джеймсу Томсону, который прилагал все силы, чтобы кандидатура его сына была одобрена.

Профессор Мейклхем скончался в мае 1846 года, и Университет Глазго начал поиски его преемника среди большого количества кандидатов, стремившихся занять эту должность. Серьезным конкурентом героя нашей книги мог бы быть Дэвид Томсон, заместитель Мейклхема с 1841 года, однако он незадолго до этих событий получил должность в Кингс-колледже Абердина, поэтому не выдвигал свою кандидатуру на рассмотрение. Также на вакансию мог претендовать шотландский физик Джеймс Дэвид Форбс, и отец Уильяма, Джеймс Томсон, написал Форбсу, чтобы узнать, каковы его планы. Тот ответил: «В мои намерения не входит быть кандидатом. Надеюсь, им станет ваш сын и получит должность».

Несмотря на то что смерть Мейклхема не стала неожиданностью из-за его серьезной болезни, Уильям сомневался в том, должен ли он выдвигаться на эту должность. Его положение в Кембридже было довольно хорошим, и он вполне мог работать там еще два или три года. Кроме того, Уильям полагал, что в Британии перед ним открываются более широкие научные возможности, чем в Глазго. Однако настойчивость отца в

конце концов победила, и 26 мая 1846 года Уильям официально представил свою кандидатуру на рассмотрение. В этот день он послал каждому из выборщиков письмо, подписавшись как Уильям Томсон, фето и преподаватель математики в колледже святого Петра. Письмо гласило:

«Поскольку кафедра натуральной философии в Университете Глазго недавно оказалась свободной и поскольку Вы один из выборщиков, я беру на себя смелость объявить Вам о своем намерении стать кандидатом на эту должность; как только в моем распоряжении будут рекомендации в мою поддержку, я передам их Вам».

После этого отец и сын постарались получить рекомендательные письма. Уильям считал, что лучше представить небольшое число рекомендаций от лиц, хорошо знакомых с его заслугами, вместо того чтобы отправлять выборщикам бессчетные послания от незнакомых с его работами людей. Однако его отец так не считал. Он настойчиво писал сыну: «Удвой свои усилия для получения рекомендаций. Не мог бы ты получить что-то от Шаля или Гаусса? Сделай все, что можешь».

Томсон навестил в Лондоне своего друга Арчибальда Смита (1813-1872) — математика, среди достоинств которого было то, что он оказался первым шотландцем, получившим титул второго спорщика и премию Смита в 1836 году. Уильям заметил, что Смит несколько сторонится его, а через некоторое время узнал, что тот собирается подать кандидатуру на ту же должность. Томсон попросил поддержки и у Фарадея, но тот не дал ему рекомендации: исследователь считал саму практику рекомендаций нечестной и необъективной.

В итоге Томсоны собрали почти 30 рекомендаций. Это были письма профессоров Томсонов в Глазго, фелло — коллег Уильяма по колледжу святого Петра, а также Хопкинса, Реньо, Стокса и Лиувилля. Также были получены рекомендации от ирландского математика и физика Уильяма Роуэна Гамильтона, британского математика и философа Джорджа Буля и британского математика Джеймса Джозефа Сильвестра.

Всего в конкурсе участвовало несколько кандидатов, однако самым опасным для сына Джеймс Томсон считал Арчибальда Смита. В письме Уильяму он отмечал: «Господин Смит вернулся с Мальты, и — будь уверен — он попытается без зазрения совести воспользоваться любым средством, имеющимся в его распоряжении, чтобы защитить желания своего сына». В итоге все оказалось гораздо проще: Смит не стал выдвигаться.

На факультете Университета Глазго 11 сентября состоялось собрание, на котором единогласно был избран Уильям. В акт об избрании не забыли включить преамбулу, в которой было отмечено: ожидается, что кандидат произведет важные изменения на кафедре натуральной философии и включит эксперименты в исследования и особенно в программу преподавания. За это уже давно выступал Никол, и в этот раз его поддержали коллеги по факультету. В акте, изданном после назначения Томсона, указывалось:

«Настоящим факультет поручает господину Томсону разработать очерк на тему De caloris distributione per terrea corpus («О распределении тепла по телу Земли»), и решение о его принятии произойдет во вторник, 13 октября, если он подтвердит свою квалификацию на собрании, принесет присягу и совершит формальности, предписанные законом».

Тема, выбранная членами факультета в качестве задания, не была чуждой Томсону, который уже изучал распространение теплоты в телах. И она оказалась в некоторой степени пророческой, поскольку в своей диссертации, окончательное название которой звучало как «Возраст Земли и его ограничения, как их можно определить из распределения и движения тепла в ней», ученый защищал точку зрения, приведшую спустя некоторое время к спору с геологами и биологами, который длился в течение значительной части его жизни. Члены факультета были более чем удовлетворены выступлением Томсона и торжественно утвердили его назначение.

Однако когда Уильям обосновался в Глазго, он не проявлял большой радости по поводу своего карьерного роста. Его сестра Элизабет вспоминала: «Совсем не похоже, что Уильям в восторге. Он совершенно спокоен. По нему и не скажешь, что он одержал такую блестящую победу». Томсону было всего 22 года.

СЕМЬЯ ТОМСОНОВ

Две старшие сестры Томсона за несколько лет до описываемых событий вышли замуж. Элизабет в 1843 году сочеталась браком с преподобным Дэвидом Кингом и осталась жить в городе. Анна жила в Белфасте, где в 1844 году вышла замуж за Уильяма Боттомли. Младшая сестра, Маргарет, скончалась в 1831 году. Три брата жили в семейном доме в Глазго

с отцом и тетей, Агнес Голл. Там Уильям и поселился.

После его возвращения в Глазго семье пришлось пережить трудные времена. В том же 1846 году брат Джон начал изучать медицину, но в апреле 1847 года заразился лихорадкой и скончался через несколько дней, когда ему был только 21 год. Через несколько месяцев старшая сестра, Элизабет, заболела неизвестной болезнью, и ей порекомеидовали продолжить лечение на Ямайке, куда она отплыла в октябре 1847 года. А 12 января 1849 года отец Уильяма стал жертвой эпидемии холеры, которая охватила Глазго той зимой. Младший брат, Роберт, отличавшийся слабым здоровьем, попытался изучать греческий язык в университете, однако оставил учебу, пошел работать в страховую компанию и через год после смерти отца эмигрировал сначала в Новую Зеландию, а затем в Австралию, где и жил до конца жизни. Брат Джеймс, в свою очередь, в 1854 году был назначен преподавателем инженерного дела в Квинс-колледже в Белфасте, куда он переехал в 1851 году, возможно, сбежав от славы Уильяма.

Наш же герой 15 сентября 1852 года после короткой помолвки женился на Маргарет Крам, которую знал с детства. Известно, что до этого Уильям сватался к Сабине Смит, сестре Арчибальда. Он целых три раза (два - в 1851 году и еще один раз - через год) просил ее руки, однако безуспешно. Возможно, короткая помолвка и свадьба были вызваны его разочарованием в любви.

В мае следующего года Маргарет и Уильям поехали в круиз по Средиземному морю, посетили Гибралтар, Мальту и Сицилию, а по возвращении в Шотландию Маргарет заболела. Что это была за болезнь, неизвестно, однако в результате она перестала ходить и осталась инвалидом. Муж заботился о Маргарет до самой ее смерти в 1870 году.

ПЕРВЫЕ ШАГИ В ПРЕПОДАВАНИИ

Свое первое занятие Томсон провел 1 ноября 1846 года. Как и ожидалось, оно касалось целей и методов физики. С течением времени эта лекция стала обязательной - ею Уильям обычно открывал свой курс натуральной философии. Конечно, каждый год в лекцию вносились изменения, но структура сохранялась. Особенно красноречиво начало:

«Когда человек сталкивается с новой областью обучения,

естественно искать четкое определение этому предмету. Но в науке нет ничего более сложного, чем определения. Попытки дать четкие и полные определения, особенно если это определение областей науки, обычно проваливались. Если где определение и логическое подразделение становятся ценными на практике, то это в разработке метода и обеспечении порядка и регулярности в ведении исследования. Я не стремлюсь в этой вводной лекции установить с логической точностью какую-то определенную линию относительно нашей области. Скорее, я попытаюсь объяснить в общих чертах связь, которую натуральная философия имеет с другими областями исследования, наблюдением, наукой и философией, и разделить их подход так, как это лучше всего подойдет для нашей работы в аудитории и лаборатории натуральной философии в университете».

В противоположность этой вводной лекции, почти неизменной в течение многих лет, занятия Томсона были довольно непредсказуемыми. Хотя он всегда старался следовать конкретному плану, но допускал и отступления, касавшиеся самых разнообразных тем, так или иначе связанных с занятием. Несмотря на то что часто Томсон затрагивал сложные аспекты математической физики, за которыми было сложно следить большинству студентов, он пользовался неизменным авторитетом - энтузиазм, с которым молодой преподаватель подходил к физике и ее проблемам, был заразительным.

Мнения некоторых студентов Томсона полностью подтверждают наши слова: «он никогда не выглядел и не вел себя как старший», «Он никогда не был скучным, никогда не был тривиальным, никогда не был банальным», «Больше всего мне нравилось, когда он позволял следить за своей мыслью, насколько мы были в силах, и начинал размышлять вслух, как он часто это делал. Его ум был полон фантазий и метафор».

Больше всего способствовала такому отношению учеников, без сомнения, экспериментальная сторона занятий Уильяма. Собственно, и факультет назначил Томсона на эту должность, чтобы он провел глубокие изменения в преподавании натуральной философии, включив в учебный процесс работу в лаборатории. Впрочем, Томсон и сам был убежден, что подобный подход обязателен для образования в области физики. Конечно, в годы обучения в Кембридже Томсон недооценивал роль экспериментов, но работа в лаборатории Реньо открыла ему глаза и показала, как важны реальные эксперименты и точные измерения.

Более того, по мере продвижения в исследованиях Томсон

ощущал нехватку точных данных, на которые он мог бы опереться в теоретических разработках, и это привело к тому, что ученый сам начал серьезную экспериментальную исследовательскую деятельность, которая позволила преодолеть эту трудность. Однако само начало этой деятельности было связано с немалыми трудностями: Мейклхем, возглавлявший кафедру в течение долгих лет, не вел никакой экспериментальной работы. Сам Томсон так описывал панораму, лежащую перед ним в Глазго:

«Я нашел устаревшие приборы. Многим из них было более 100 лет, лишь некоторым - меньше 50, и большинство из них было из источенного красного дерева. [...] Не существовало абсолютно никаких предпосылок для каких-либо экспериментальных исследований, не говоря уже о чем-то, похожем на практическую работу студентов».

Уильяму пришлось решить две задачи. С одной стороны, он должен был убедить своих коллег по факультету, что для успешного выполнения их же поручения нужны немалые финансовые вложения, связанные с приобретением необходимого оборудования и приборов, а также помещения для лабораторий. Тут можно отметить, что коллег удалось убедить, материалы были закуплены, а в качестве лаборатории выступил старый неиспользуемый погреб, расположенный недалеко от аудитории Томсона. Постепенно к этому погребу он присоединял другие помещения (по мере их освобождения), причем предпочитал просто ставить коллег перед фактом, опуская этап формальных запросов, которые требовались по регламенту, но совсем не гарантировали результата. Постепенно ученый создал достойную лабораторию, которую использовал для преподавания и исследований.

Вторая задача была посложнее. Томсон собирался разработать для студентов программу экспериментов, которая дополняла бы теоретическую часть его лекций. Можно представить себе сложность, которую эта задача представляла для физика-теоретика, каким и был Томсон, и помог ему только опыт работы в парижской лаборатории Реньо. Результатом стала первая университетская лаборатория, предназначенная для преподавания физики, и первая профессиональная лаборатория в современном смысле.

Решая эти задачи, Томсон прибегал к советам своего кембриджского друга Джорджа Габриеля Стокса (1819-1903). Стокс и Томсон отлично дополняли друг друга. Первый был спокойным, рассудительным, методичным; второй, напротив, -

непосредственным и полным энтузиазма. Первый был склонен к экспериментам, второй намного больше ценил теоретические разработки. Уильям, прежде чем принять решение, обычно говорил: «Я посоветуюсь об этом со Стоксом», в то время как Стоке, размышляя над дилеммой, спрашивал себя: «Что бы подумал об этом Томсон?»

Томсон испытывал глубокое уважение к Стоксу и его работе. «Я советуюсь с человеком, имеющим для меня большой авторитет, — Стоксом, и делаю это каждый раз, когда у меня есть такая возможность», — говорил он в Балтиморских лекциях, а в связи с юбилеем Стокса в 1899 году заявил:

«Когда я размышляю о собственном начальном прогрессе, то обязательно вспоминаю о любезности, которую он выказал по отношению ко мне, и о том, какое большое значение имело для меня в течение жизни общение с сэром Джорджем Стоксом».

ДЖОРДЖ ГАБРИЕЛЬ СТОКС

Стокс — ирландский математик и физик, который внес важный вклад в оптику, динамику флюидов и математическую физику. Он родился в Скрине, на севере Ирландии, 13 августа 1819 года и был сыном пастора протестантской евангелической церкви.

В 1837 году Стокс поступил в Пемброк- колледж в Кембридже, а в 1841 году получил титул старшего спорщика и выиграл премию Смита. В 1849 году он занял должность лукасовекого профессора математики в Кембриджском университете, на которой и оставался до завершения карьеры. В 1852 году Королевское общество наградило его медалью Румфорда за исследования по длине световой волны. Характерным для научных исследований Стокса было сочетание математических разработок и экспериментов, которые он ставил в своей лаборатории.

Первые работы ученого были связаны с движением несжимаемых жидкостей и трением, происходящим при этом. Одним из самых важных его результатов в этой области был так называемый закон Стокса, позволяющий вычислить конечную скорость сферы, падающей в вязкую среду, то есть постоянную скорость, с которой движется сфера, когда гравитационная сила компенсируется силой противодействия среды. Также Стоке изучал явление дифракции - эффекта, который оказывает на поток света объект, присутствующий на его траектории, и как на дифракцию влияют характеристики этого объекта (например, размер). Другой его важный результат состоял в определении того, что плоскость поляризации света перпендикулярна направлению его распространения. Кроме того, ученый изучал флуоресценцию и двойное лучепреломление, характерные для некоторых материалов, таких как исландский шпат. С 1885 по 1890 год он был председателем Королевского общества, а в 1893 году получил от него медаль Копли. Томсон и Стокс поддерживали крепкую дружбу более 50 лет и в течение всего этого времени постоянно обменивались идеями о научных проблемах, над которыми трудились. Эта привычка часто приводила к тому, что невозможно было определить, кто из них двоих раньше пришел к той или иной идее, как это случилось с теоремой Стокса.

Через несколько лет после прибытия в Глазго Томсон пытался убедить Стокса работать с ним. У Стокеа не было постоянной должности в Кембридже, и он рассмотрел это предложение.

Отказаться его заставило одно из правил Университета Глазго: преподаватели этого учреждения должны были быть прихожанами пресвитерианской церкви Шотландии. Это требование, которое насчитывало уже 300 лет, в свое время позволило шотландской академической жизни удержаться вдали от религиозных войн. Молодые преподаватели считали приписывание к Церкви чисто бюрократическим требованием, но так было не всегда. Например, отец Уильяма был убежден, что религии свойственны предрассудки, поэтому в течение долгого времени критически относился к указанному условию и даже пытался добиться его отмены. Стокс, сын ирландского евангелистского пастора, отверг предложение Томсона:

«Простой выбор — это отказаться от него [религиозного перехода], если только я не буду готов стать пресвитером сознательно, чего явно не случится. [...] Очень сомневаюсь в том, что мог бы подписаться под этим переходом, имеющим слабый смысл».

Наука обязывает нас абсолютно доверять Высшей Власти, верить во влияние, свободное от физических, динамических или электрических сил... Наука обязывает нас верить в Бога.
Уильям Томсон

Томсон очень отличался от Стокеа в этом аспекте - как и во многих других. Он не придавал большого значения религии, хотя все связанное с отправлением религиозных служб казалась ему невыносимым. При этом ученый был полностью убежден в том, что процессы, управляющие будущим Вселенной, доказывают божественную силу.

К ТЕОРИИ ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМА

Математическая формулировка физических процессов, участвующих в электромагнитных явлениях, чрезвычайно интересовала Томсона. В письме Фарадею он утверждал:

«Если мои идеи верны, то математическое определение кривых линий индукции и условий для их выявления во всех возможных сочетаниях тел, подверженных электрическому заряду, не представит никаких сложностей».

Томсон таким образом продолжал одну из своих примечательных работ. В 1847 году в «Математическом журнале Кембриджа и Дублина» он опубликовал статью под названием «Механическое представление электрической, магнитной и гальванической силы», которая значительно меняла представление об электромагнитных силах, устанавливая связь между опытами Фарадея и теорией Максвелла. Ключевой в работе Томсона была математическая аналогия между распределением электричества в проводниках и силами притяжения и отталкивания, действующими на заряженные тела, а также теорией упругих твердых тел, в которую внес значительный вклад Стокс. Аналогия была установлена на экспериментальных данных, полученных Фарадеем при изучении воздействия электромагнитных сил на поляризованный свет, пересекающий прозрачные твердые тела. Томсон написал Фарадею:

«[В статье] проводится аналогия между электрической и магнитной силами в терминах напряжений, которые распространяются в твердой и упругой среде, [...] что подтверждает теорию, которая [...] в итоге неизбежно ведет к тому, что существует тесная связь между силами, и показывает, что чисто статические явления магнетизма могут происходить либо от электричества в движении, либо от инертной массы, как у железняка».

Математический формализм позволял пойти намного дальше идей Фарадея, породив такие отношения, как отношение магнитной силы к ротору электрической силы, то есть уравнения Максвелла. Итак, Томсон вплотную подошел к принятой сегодня электромагнитной теории; как написал он сам, был необходим «специальный анализ тех состояний твердого тела, которые представляют собой различные проблематичные аспекты электричества, магнетизма и гальванизма; анализ, следовательно, должен быть оставлен для будущей работы». Эта будущая работа появилась намного позже, в 1890 году.

Электромагнитная теория шотландца Джеймса Клерка Максвелла (1831-1879) увидела свет в 1865 году, хотя Томсон так и не был убежден в ее справедливости. Максвелл приходился кузеном Джемиме, супруге Хью Блэкберна - товарища Томсона, и они часто встречались в доме этой супружеской пары, однако между учеными никогда не было тесных отношений. Возможно, наибольшее сближение произошло в 1854 году, когда Максвелл, едва окончив Кембридж, написал Томсону с просьбой о совете:

«Как человек, имеющий базовые знания об опытах по электричеству и некоторую антипатию к «электричеству» Мерфи [учебнику], может действовать, читая и работая, чтобы приобрести небольшое представление о теме, которая будет ему полезна для последующего чтения? Если бы он хотел почитать Ампера, Фарадея и так далее, как бы ему следовало организовать эти работы и когда и в каком порядке читать их статьи в «Кембриджском журнале»?»

Однако отсутствие дружбы не мешало Максвеллу и Томсону уважать друг друга. Первый признался второму: «вам очень помогла аналогия с теплопроводностью, которую я считаю Вашим изобретением, по крайней мере я не нашел ее ни в каком другом месте. [...] Это очень долгий вопрос, касающийся электричества, но [...] я надеюсь, что Вам будет несложно проследить за моей идеей». И когда в 1855 году Максвелл начал публиковать свои работы, он уделял большое внимание тому, чтобы избежать даже случайных научных столкновений с Томсоном:

«Мне бы очень помогло, если бы Вы могли сказать мне, есть ли у Вас черновик всего этого среди каких-то бумаг, потерянных или забытых только потому, что Вы работали над теплом, но у Вас было мало свободного времени. [...] Поскольку у меня нет сомнений в том, что математическая часть Вашей теории находится у Вас в письменном столе, то все, что Вам нужно сделать, — это объяснить свои результаты об электричестве. Думаю, если Вы сделаете это публично, это введет новый набор электрических понятий в оборот и сэкономит много бесполезных умозаключений».

УРАВНЕНИЯ МАКСВЕЛЛА

Джеймса Клерка Максвелла многие считают физиком XIX столетия, который больше всего повлиял на физику XX века. В 1871 году он получил должность преподавателя физики в Кембридже и взялся за строительство знаменитой Кавендишской лаборатории — исключительного научного учреждения: со времени создания в 1874 году ее исследователи получили 29 нобелевских премий. В 1862 году Максвелл сформулировал свои знаменитые уравнения:

$$\nabla \cdot \boldsymbol{E}(\boldsymbol{r},t) = \frac{1}{\varepsilon_0}\rho(\boldsymbol{r},t),$$

$$\nabla \cdot \boldsymbol{B}(\boldsymbol{r},t) = 0,$$

$$\nabla \times \boldsymbol{E}(\boldsymbol{r},t) = -\frac{\partial \boldsymbol{B}(\boldsymbol{r},t)}{\partial t},$$

$$\nabla \times \boldsymbol{B}(\boldsymbol{r},t) = \mu_0 \boldsymbol{J}(\boldsymbol{r},t) + \varepsilon_0\mu_0 \frac{\partial \boldsymbol{E}(\boldsymbol{r},t)}{\partial t}.$$

Здесь символы, выделенные жирным, соответствуют векторным величинам, а символы курсивом - скалярным величинам. Дифференциальные операторы (перевернутая $\Delta\cdot$) и (перевернутая Δx) обозначают «дивергенцию» и «ротор», и это два различных способа дифференцирования относительно пространственных координат. Также появляется производная от времени, $\partial/\partial t$. Первое уравнение — это закон Гаусса, он описывает отношение между векторным электрическим полем E и общим зарядом, который его производит, представленным плотностью общего заряда ρ. Второе уравнение — это закон Гаусса для магнетизма, в котором указано, что не существует магнитных зарядов, или монополей. Третье уравнение — это закон индукции Фарадея, в котором установлено, что переменное магнитное поле индуцирует электрическое поле. Последнее уравнение — это закон Ампера, в котором установлено, что магнитное поле может быть образовано двумя способами: с помощью электрического тока (представленного общей плотностью тока J) или переменного электрического поля. Последнее уравнение — единственное, которое Максвелл изменил: он добавил новый член, устанавливающий аналогию между электрическими и магнитными полями. Величины ε_0 и μ_0 — это универсальные константы: диэлектрическая проницаемость и магнитная проницаемость свободного пространства (или вакуума) соответственно. Эти две величины связаны соскоростью электромагнитного излучения в свободном пространстве ($c = (\varepsilon_0\,\mu_0)^{-1/2}$), которая совпадает со скоростью света в вакууме. В 1931 году в связи со столетием со дня рождения Максвелла Альберт Эйнштейн отметил его работу как «самую глубокую и полезную, которую проделала физика со времен Ньютона».

Но Томсон оставил эту исследовательскую линию, и Максвелл погрузился в работы по электричеству. Первая, озаглавленная «О фарадеевых силовых линиях», была опубликована в 1855 году. Ее теоретическая часть разрабатывалась в течение десяти лет. Целью работы было математическое оформление взаимосвязи между распределением зарядов и магнитов, полями, которые они создают, и их колебаниями во времени. В некотором смысле идея Томсона была той же, но его подход был другим. Для Томсона математический аппарат имел смысл только в том случае, когда он следовал из четко определенной физической модели и мог вылиться в механическую модель. Так же как и для других аналогий, разработанных до этого ученым, он думал, что аналогия между электромагнетизмом и теорией упругих твердых тел, которая появилась в его работе 1847 года, имеет глубокие следствия, связанные с рассматриваемыми явлениями. Томсон стремился найти твердое тело с соответствующими свойствами, чтобы сформулировать полную, непротиворечивую модель, охватывающую одновременно все эффекты электромагнитного характера. А затем, как только будет найдено такое тело, достаточно будет сформулировать выражения, описывающие его поведение, и при внесении необходимых изменений получить уравнения электромагнетизма.

Именно такие рассуждения стали причиной недооценки Томсоном теории Максвелла. Некоторые ее элементы не имели соответствия в физике твердых тел, и это оказалось решающим для Уильяма, принимавшего только взаимосвязь, которую Максвелл установил между электромагнитными волнами и светом. Вначале Максвелл уверял, что именно первые работы Томсона дали ему идеи для исследований, но со временем он так описывал произошедшее в письме к Фарадею в 1857 году:

«Насколько я знаю, Вы первый человек, которому пришла в голову мысль о телах, взаимодействующих на расстоянии и приводящих окружающую среду в силовое состояние, — мысль, которой действительно надо верить. [...] Нет ничего более ясного, чем Ваши описания всех источников силы, которые поддерживают одно состояние энергии у всего, что их окружает».

Под словами «состояние энергии» Максвелл имел в виду электромагнитное поле. Когда он закончил разработку своей теории, жизнь Фарадея подходила к концу, и исследователь, умерший в 1867 году, так и не понял, как Максвелл смог

трансформировать его догадку об электромагнитном поле в набор математических уравнений, не лишенных элегантности. Однако многочисленные ученые, включая Томсона, имели много предубеждений относительно новой теории. Она начала приниматься только в 1888 году, через девять лет после смерти Максвелла и после того, как немецкий физик Генрих Рудольф Герц (1857-1894) смог получить электромагнитные волны в своей лаборатории.

ТЕОРИЯ ТЕПЛОРОДА

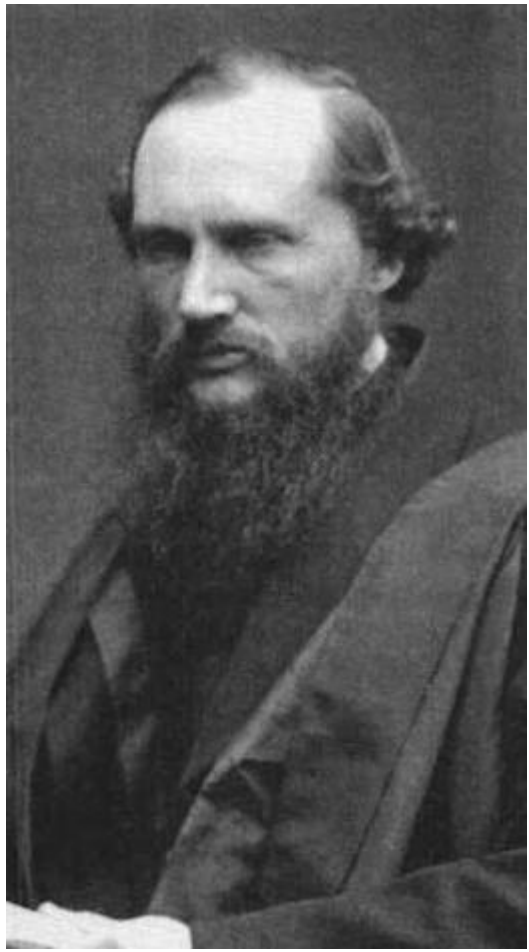
В течение XVIII и значительной части XIX века большинство ученых для описания явлений, связанных с теплом, использовали теорию теплорода. Эта теория, улучшенная Лапласом и Пуассоном, позволяла удовлетворительно объяснить почти весь эмпирический опыт. Значительная часть работ Томсона, посвященных теплоте, опиралась на понятие теплорода - невесомого флюида, присутствующего в каждом теле, окружая его атомы, и способного течь сквозь любое вещество.

С другой стороны, в соответствии с принятой в то время гипотезой считалось, что атомы взаимно притягиваются из-за силы тяготения. При нагревании тела расширяются, поглощая теплород, что приводит к увеличению расстояния между атомами материи. При охлаждении тело испускает теплород, одновременно сжимаясь, поскольку его атомы под воздействием гравитационной силы сближаются.

Лорд Кельвин со своими студентами в лаборатории в Университете Глазго.

Фон Гельмгольц, немецкий врач и физик, внесший значительный вклад в сохранение энергии.

Джеймс Джоуль, английский физик, чьи работы привели к формулировке первого закона термодинамики.



Уильям Томсон. Снимок сделан в 1860-х годах.

Кроме того, с помощью теплорода объяснялось существование твердых, жидких и газообразных тел. Без этой субстанции вся материя была бы организована в однородных твердых телах, поскольку все атомы притягивались бы друг к другу и соединялись бы. Следовательно, жидкая и газообразная материя формировались в результате воздействия отталкивающей силы — теплорода. В твердых телах количества теплорода недостаточно, чтобы препятствовать гравитационному притяжению атомов. Жидкости, наоборот, обладают достаточно высоким количеством теплорода, из-за этого их атомы не находятся в устойчивом положении. В газах гравитационное притяжение практически равно нулю, и из-за теплорода они стремятся расширяться, пока не заполнят все свободное пространство.

Теплопередача от теплых тел к холодным также прекрасно

вписывалась в теорию. Чем меньше теплорода в теле, тем больше его атомы «желают» его получить. Если нагреть твердый брусок с одной стороны, то атомы, расположенные на этом конце, получают больше теплорода, чем соседние, и для удовлетворения «жажды» последних образовывается поток теплорода от одних атомов к другим, пока количество этой субстанции во всем теле не уравновесится.

Однако у этой теории были и свои критики. Несколько открытий Бенджамина Томпсона, графа Румфорда (1753-1814), американского врача и физика, поставили под сомнение ее справедливость. Например, Румфорд указал, что если кусок льда нагреть до его превращения в воду, то она будет занимать минимальный объем примерно при $+5\ ^{\circ}C$, то есть нагревание не всегда предполагает расширение. Это же происходит и с другими веществами, однако ученые сочли, что подобные возражения не могут поколебать теорию теплорода.

В 1798 году Бенджамин Томпсон опубликовал доклад под названием «Исследование источника тепла, вызываемого трением», в котором рассказал о том, как сверло, с помощью которого высверливается канал в пушечном стволе, нагревается во время работы так сильно, что позволяет почти довести до кипения воду, используемую для охлаждения. Это явление могло быть объяснено тем, что при отделении металлической стружки часть теплорода, содержащегося в веществе металла, высвобождается, нагревая все элементы, задействованные в процессе. Но после этого граф Румфорд провел другой эксперимент, использовав тупое сверло, которое не могло снять никакой стружки, однако производило при работе примерно столько же тепла. Кроме того, ученый подсчитал, что если бы все тепло, выделившееся при сверлении ствола, было передано пушке, она бы просто расплавилась. Тепло не может исходить из пушки, следовательно, оно образовывается в процессе трения между сверлом и металлом. Однако современники этот факт проигнорировали.

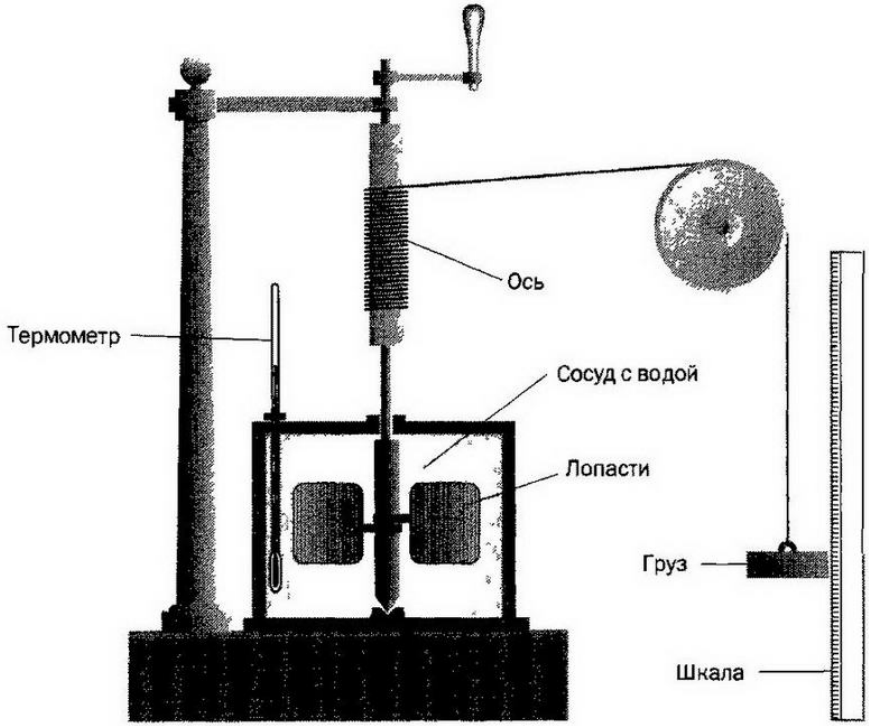
ВКЛАД ДЖОУЛЯ

Джеймс Прескотт Джоуль — физик-любитель, родился 24 декабря 1818 года в Солфорде (Англия), рядом с Манчестером. Его родители владели пивным заводом, и сам Джоуль руководил его работой вплоть до продажи предприятия в 1854 году. Опыт, полученный при изготовлении пива, позволил ему

в дальнейшем решить многие практические вопросы, которые встали перед ним во время физических экспериментов в лаборатории, оборудованной в собственном доме Джоуля.

Два основных закона

В 1840 году он сформулировал два закона, имевших огромное значение. Согласно первому, тепло, образованное электрическим проводником, когда по нему проходит постоянный ток, пропорционально квадрату этой силы, электрическому сопротивлению проводника и времени, в течение которого проходил ток. Согласно второму закону, внутренняя энергия идеального газа не зависит от его давления или от объема - только от температуры. В 1843 году исследователь смог установить, что эффект от нагревания проводников при прохождении через них тока является не результатом теплопередачи от какой-либо части экспериментальной установки, а происходит от образования тепла на месте. Это открытие популярная на тот момент теория теплорода объяснить не могла. В последующие годы Джоуль работал над определением механического эквивалента тепла, то есть связи между единицами измерения механической энергии и тепла, что было основополагающим шагом для установления законов термодинамики и сохранения энергии. В 1850 году он получил значение в 4, 159 джоуля на калорию, что очень близко значению, принятому сегодня (4, 1868 джоуля на калорию). Использованное устройство схематически изображено на рисунке. Оно представляет собой груз (справа), связанный с помощью провода с осью, вращающей лопасти внутри сосуда, наполненного водой и термически изолированного. Благодаря вращению лопастей температура воды увеличивалась на величину, которую Джоуль смог измерить с точностью в 3/1000 градуса, что в то время было невероятно. Исследованиям Джоуля были возданы многочисленные почести; среди прочих наград он получил медаль Королевского общества в 1852 году и медаль Копли в 1878 году. Также ученый возглавлял Британскую ассоциацию развития науки в 1872 и 1887 годах. В его честь единица энергии в Международной системе единиц носит название джоуль.



Потребовалось много времени, прежде чем наука поняла, что тепло на самом деле — это тип энергии и для объяснения связанных с ним явлений не требуется никакого теплорода. Эксперименты, которые ставил с 1843 года английский физик Джеймс Джоуль (1818-1889), означали конец теории теплорода. Однако это понятие оставило в науке очень глубокий след, и сегодня все еще используются термины, ставшие порождением этой теории, - такие как тепловой поток от одного тела к другому, количество теплоты, удельная теплоемкость, скрытая теплота или единица измерения «калория».

ДЖОУЛЬ И МЕХАНИЧЕСКИЙ ЭКВИВАЛЕНТ ТЕПЛА

В июле 1847 года в Оксфорде прошло собрание Британской ассоциации развития науки. На нем Томсон опять встретился с Фарадеем и познакомился с Джоулем, который вновь представил свои работы. Надо сказать, что Джоуль отличался крайней настойчивостью. Он уже представлял результаты своих экспериментов, начатых в 1838 году, на собрании ассоциации

четыре года назад, в Корке. Еще тогда Джоуль уверял, что «в магнитоэлектричестве есть участник, способный посредством простых механических средств разрушать или вырабатывать тепло». Из этого следовало, что возможно «превращение тепла в механическую мощность и наоборот в соответствии с числовыми отношениями», которые Джоуль и определил. Ученый доказал преобразование работы в тепло (но не тепла в работу), однако его наблюдения не встретили отклика.

Два года спустя, на собрании в Кембридже, он сделал вторую попытку. В секции химии Джоуль представил работу, озаглавленную «О механическом эквиваленте теша», где предложил новую оценку этой величины. Но, как и в Корке, эта работа не вызвала никаких обсуждений. На конгрессе в Оксфорде он наконец-то смог привлечь внимание некоторых присутствующих к своим открытиям. В 1885 году Джоуль так вспоминал произошедшее тогда:

«Когда я снова поднял ее [тему механического эквивалента тепла] на конгрессе [в Оксфорде] в 1847 году, ведущий предложил, чтобы я, так как программа заседания очень плотная, не читал свою статью, а ограничился кратким словесным описанием своих экспериментов. Я попытался сделать это, и так как не было приглашения к дискуссии, сообщение прошло бы незамеченным, если бы не один молодой человек, который своими умными замечаниями вызвал оживленный интерес к новой теории. Этим молодым человеком был Уильям Томсон, который [...] сейчас, возможно, является самым большим авторитетом в науке нашего времени».

Через несколько лет, в 1882 году, Томсон также вспоминал этот момент:

«Я познакомился с Джоулем на конгрессе в Оксфорде, и у нас сразу завязалась дружба из тех, что длятся всю жизнь. Я услышал его выступление и почувствовал себя обязанным встать и сказать ему, что он ошибается, поскольку истинное механическое значение тепла должно быть, при маленьких разницах в температуре, пропорционально квадрату его количества. Я знал по закону Карно, что это именно так. Но по мере того как я слушал, я видел, что Джоуль действительно описывает великую истину и великое открытие. Следовательно, вместо того чтобы встать с возражением в течение заседания, я дождался его конца и сказал это Джоулю лично в конце собрания. [...] Затем мы долго разговаривали на эту тему. Я получил идеи, которые никогда до этого не приходили мне в голову, и также, думаю, предложил что-

то, достойное рассмотрения Джоуля, рассказав ему о теории Карно. С тех пор мы стали друзьями. Статья Джоуля оказалась большой сенсацией. Фарадей был там, и она очень его впечатлила, хотя он полностью не осознал нового видения. И через совсем небольшое время Стокс сказал мне, что чувствует в себе стремление стать джоулитом».

Следует понимать, что Томсон в те минуты оказался на распутье. С одной стороны, он был убежден в истинности теории Карно: некоторое количество тепла может проходить через машину Карно и производить при этом механическую работу без потерь; в машине Карно, работающей противоположным образом, некоторое количество механической работы используется для перемещения некоторого количества тепла от полюса низкой температуры к полюсу высокой температуры. Однако на него произвели сильное впечатление точные экспериментальные техники Джоуля, которые четко указывали на возможность выработки тепла с помощью механической работы. В письме отцу Уильям сообщал:

«Я уверен, что многие идеи Джоуля ошибочны, но, похоже, я открыл несколько фактов чрезвычайной важности, например то, что тепло развивается от трения движущихся флюидов».

Он также послал работы Джоуля своему брату Джеймсу: «Прилагаю статьи Джоуля, которые тебя удивят».

МАШИНА КАРНО

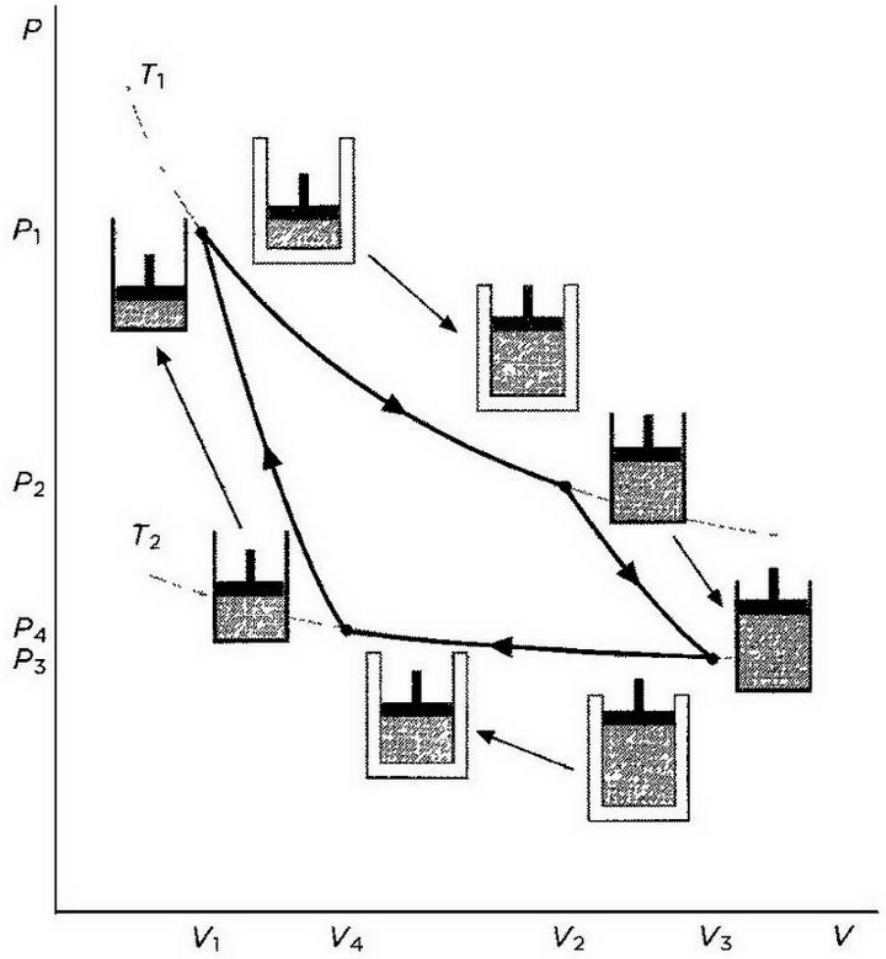
Машина Карно — это идеальная машина, представляющая собой цилиндр, заполненный идеальным газом, который приводит в действие поршень. Машина работает между двумя источниками постоянной температуры. Как видно, она работает между двумя кривыми «давление - объем» для двух различных температур, $T_1 > T_2$. Эти кривые иллюстрируют закон, который связывает давление (P), объем (V), число молей (n) и температуру (T) идеального газа: $PV = nRT$, где $R = 8,314472$ м³ Па К-1 моль-1 — константа. Кроме того, чем выше температура газа, тем больше его кинетическая энергия, то есть энергия, вызванная скоростью его молекул.

Четыре этапа цикла Карно

На первом этапе газ испытывает изотермическое расширение, вступая в контакт с полюсом температуры T_1 (обозначен белой структурой, окружающей поршень); его давление уменьшается с P_1 до P_2, объем увеличивается с V_1 до V_2 и он приобретает тепло от этого полюса. Однако температура газа не меняется, и его кинетическая энергия остается прежней, а все переданное газу тепло используется для совершения механической работы в поршне (который толкается газом вверх). Следующий этап — это адиабатическое расширение, то есть без теплообмена с внешней средой. Температура газа уменьшается с T1 до T2, его объем увеличивается до V_3, а давление уменьшается до P_3. Работа поршня осуществляется за счет кинетической энергии газа, которая уменьшилась, поскольку это же произошло с температурой. Третий этап — это изотермическое сжатие. Газ вступает в контакт с источником температуры T_2, его объем уменьшается до V_4, давление увеличивается до P_4. Поскольку температура не меняется, то не меняется и кинетическая энергия газа, и работа производится благодаря теплу, переданному газом источнику низкой температуры. Последний этап — это адиабатическое сжатие. Объем газа сокращается, его давление и температура растут до первоначальных значений, и за счет увеличения кинетической энергии осуществляется работа. Машина может работать, извлекая тепло из теплого источника (при этом получается тепловой насос) или из холодного (тогда получается охлаждающая машина). Производительность (то есть частное между произведенной работой и теплом, поглощенным из теплового полюса T_1 машины Карно равна

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = \frac{W}{Q}.$$

Формула устанавливает максимальный предел производительности любой тепловой машины, работающей между $T_{\pm}$ и T_2. Здесь W— произведенная работа, Q — тепло, переданное от источника тепла газу.

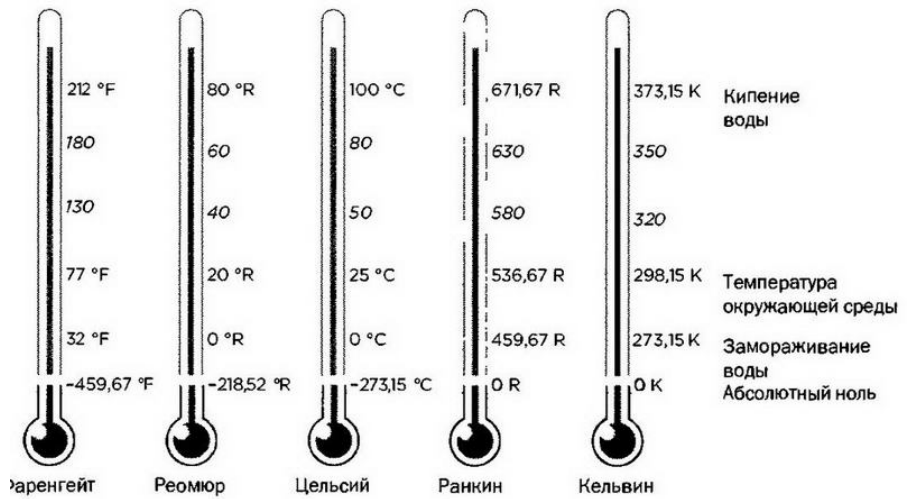


АБСОЛЮТНАЯ ТЕМПЕРАТУРНАЯ ШКАЛА

Существовал один вопрос, связанный с опытами Джоуля и теорией Карно, который имел для Томсона большое значение — как теоретическое, так и практическое: измерение температуры и, конкретнее, установление температурной шкалы, основанной на известных физических законах, а не на тепловых свойствах материалов, из которых производили термометры. Точка зрения Томсона отличалась от общепринятой.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ШКАЛЫ

Температуру измеряют с помощью термометров — инструментов, в которых используются свойства веществ, способных достаточно сильно менять свою температуру. В 1592 году Галилей сконструировал термоскоп, в котором использовалось свойство воздуха (давящего на столбик воды) сжиматься или расширяться при охлаждении или нагревании. В 1612 году итальянский врач Санкториус Санторио добавил ктермоскопу шкалу. В 1714 году немецкий физик Даниель Габриель Фаренгейт изобрел ртутный термометр. Относительные температурные шкалы присваивают заданные значения двум неподвижным отправным точкам. Фаренгейт воспользовался смесью воды и хлорида аммония и установил О ˚F и 212 ˚F для замерзания и кипения смеси. В 1730 году французский физик и энтомолог Рене Антуан Фершо Реомюр изобрел спиртовой термометр со шкалой в 80 градусов: 0˚R — для замерзания воды, и 80˚R — для ее кипения.



В 1742 году шведский физик и астроном Андерс Цельсий установил шкалу, носящую его имя, назначив 0 и 100 градусов температуре замерзания и кипения чистой воды. Шкала была инвертирована в 1743 году Жаном Кристеном, французским эрудитом, и в 1745 году — Карлом Линнеем, шведским натуралистом. Абсолютные шкалы основаны на единственной точке — абсолютном нуле — и не зависят от свойств веществ. В 1852 году Томсон предложил одну из таких шкал, в которой использовал градус Цельсия. В 1859 году шотландский физик Уильям Джон Макуорн Ранкин предложил абсолютную шкалу, основанную на градусе Фаренгейта. Следующие выражения (они соответствуют шкалам Фаренгейта, Реомюра, Цельсия и Ранкина) связывают эти исторические

шкалы со шкалой Кельвина:

$$T(^\circ F)=32+\frac{9}{5}\left[T(K)+273,15\right],$$

$$T(^\circ R)=\frac{4}{5}\left[T(K)+273,15\right],$$

$$T(^\circ C)=T(K)+273,15,$$

$$T(R)=\frac{9}{5}T(K).$$

Кельвин, единица измерения температуры в Международной системе, определяется как 1/273, 16 части температуры тройной точки воды. В тройной точке вещества одновременно существуют в равновесии при заданном давлении три состояния этого вещества. В случае с водой это происходит при 273, 16 К при парциальном давлении пара в 611, 73 Па. Важность тройной точки — в том, что ее можно установить экспериментально с большей точностью, чем другие, и это облегчает калибровку приборов. С помощью тройных точек различных веществ в 1990 году была установлена международная шкала МТШ-90, позволяющая сравнить измерения температуры, осуществленные в любой лаборатории.

В первые годы XVIII века французский физик Гийом Амонтон (1663-1705) понял, что при охлаждении газов при поддержании постоянного давления их объем уменьшается в линейной зависимости от температуры. Это уменьшение температуры не может дойти до предела, в котором объем газа был бы равен нулю, поскольку любая реальная физическая система должна иметь объем. Следовательно, можно сделать вывод о существовании минимальной температуры - абсолютного нуля, ниже которого температура не сможет опуститься. Амонтон с помощью воздушного термометра при постоянном давлении сделал вывод, что абсолютный ноль должен соответствовать примерно 230-240 ˚С ниже точки таяния льда.

Позже проблемой заинтересовались другие исследователи. Швейцарский математик и физик Иоганн Генрих Ламберт (1728-1777), пользуясь термометром постоянного объема, получил значение, равное -270, 3 ˚С. На конгрессе в Кембридже 1845 года

Джоуль, основываясь на собственных экспериментах, привел значение минимальной температуры, равное приблизительно 250 ˚C ниже точки замерзания воды. В 1847 году опубликовал свою оценку и Реньо: -272, 75 ˚C.

Неизвестно, насколько эти результаты или их обсуждение с Джоулем могли повлиять на интерес Томсона к проблеме. Однако поставленный вопрос означал большой сдвиг для физики. Ученого не удовлетворяло, что все определения были основаны на измерении температуры газов. Как он знал по своему личному опыту, в лабораториях его времени очень часто использовались газовые термометры. Априори они могли показаться подходящими для установления абсолютной температурной шкалы, поскольку предполагалось, что поведение всех газов, которые в них использовались, соответствует модели идеальных газов: если поддерживать давление газа постоянным, то его объем будет увеличиваться или уменьшаться линейно и прямо пропорционально температуре. Следовательно, это казалось идеальным механизмом для измерения температур и, что еще более важно, давало возможность установить единую температурную шкалу.

Однако реальные газы только похожи на идеальные, но не являются таковыми, и закон идеальных газов не всегда описывает их поведение с достаточной точностью. Каждый газовый термометр, в зависимости от конкретного используемого в нем газа, измерял температуру по-разному, и хотя эти приборы можно было откалибровать между собой, отсутствие независимого метода измерения температур не позволяло понять, показания какого из них наиболее достоверны.

В октябре 1848 года Томсон опубликовал в «Философском журнале» работу под названием «Об абсолютной температурной шкале, основанной на теории движущей силы тепла Карно и вычисленной на основе наблюдений Ренъо», в которой подошел к проблеме с неожиданной стороны. Томсон писал:

«Есть ли какой-то принцип, на котором можно основать абсолютную температурную шкалу? Мне кажется, что теория движущей силы тепла Карно позволяет нам дать положительный ответ. Отношение между движущей силой и теплом, как было установлено Карно, показывает, что количество теплоты и интервалы температуры — это единственные элементы, задействованные в выражении количества механического эффекта, которое можно получить посредством тепла. И так как у нас есть система, определенная для измерения количества тепла, мы можем измерить интервалы в соответствии с тем, как могут

быть оценены абсолютные разницы в температуре».

Томсон предложил такую температурную шкалу, что машина Карно, в которой «единица тепла, проходящая от тела А температуры Tº этой шкалы к другому телу В температуры (T-1)º, будет производить один и тот же механический эффект независимо от значения T. Это справедливо может считаться абсолютной шкалой, поскольку ее характеристика довольно независима от физических свойств любого конкретного вещества». Так Томсон сформулировал определение температуры, имеющее механический характер, не выходя за рамки теории теплорода. Однако поскольку строительство машины Карно было невозможно, ведь это была идеальная машина, предложение носило скорее теоретический характер. А кроме того, как выяснилось позже, гипотеза о том, что эффективность машины Карно не зависит от температуры T, на которую опирался Томсон и которая порождала все проблемы несовместимости с результатами Джоуля, оказалась нежизнеспособной.

В любом случае в этой работе Томсон обратил внимание на отсутствие достаточной эмпирической информации:

«Следовательно, полностью удовлетворительного расчета предложенной шкалы нельзя осуществить, пока не будут получены дополнительные экспериментальные данные [которые Реньо обещал получить в ближайшем будущем]; но на основе имеющихся сегодня результатов мы можем сделать приблизительное сравнение новой шкалы со шкалой воздушных термометров».

Проблема состояла в том, что новая шкала, предложенная Томсоном, не имела абсолютного нуля. Она была установлена с помощью воздушных термометров и включала в себя «бесконечный холод», который должен был соответствовать значению порядка -270 °C. Согласно Томсону, это происходило из-за градуировки шкалы, основанной на этих термометрах: «значение одного градуса [...] воздушного термометра частично зависит от шкалы, в которой оно берется», в то время как значение одного градуса в шкале Томсона всегда одно и то же. Так или иначе, Томсон не установил в своей работе абсолютного температурного нуля, как это часто ему приписывают.

Позже, в 1852 году, когда ученый пересмотрел свои идеи о теплопередаче в машине Карно, он предложил новую абсолютную шкалу, преимущества которой были очевидны. С одной стороны, она соотносилась со шкалой термометра, сконструированного с помощью идеального газа. С другой стороны, абсолютный ноль

получился естественным образом: это была температура холодного полюса, для которой производительность машины Карно достигала 100%. Так как эта производительность равна

$\eta = 1 - T_2/T_1$,

очевидно, что если $\eta = 1$, то $T_2 = 0$ при любой температуре $T_1 > T_2$.

В 1954 году, на десятой Генеральной конференции по мерам и весам, в честь Томсона было решено назвать градусом Кельвина единицу измерения температуры в Международной системе единиц (позже, в 1968 году, она стала называться просто кельвин).

КАРНО ПРОТИВ ДЖОУЛЯ

Однако Томсон все еще был неудовлетворен расхождениями между результатами Карно и Джоуля. Согласно первому, «тепловой способ, которым можно получить механический эффект, — это теплопередача от одного тела к другому, имеющему более низкую температуру», при этом не происходит никакого потребления тепла. С другой стороны, Томсон принимал экспериментальные результаты Джоуля, которые однозначно доказывали превращение тепла в работу.

В тот момент Томсон столкнулся с парадоксом. Если некоторое количество теплоты проходит от горячего полюса к холодному через твердое тело, то не производится никакой механической работы, а если вместо твердого тела была машина Карно, работа производится. Тогда исследователь задался вопросом:

«Что происходит с механическим эффектом, который должен был быть произведен? Ничто не может потеряться в операциях природы, никакая энергия не может быть разрушена. Итак, какой эффект получается вместо механического эффекта, который был потерян?»

Эту проблему Томсон поставил в своей работе под названием «Отчет о теории движущей силы тепла Карно при числовых результатах, выведенных во время экспериментов Ренъо с паром», которая была опубликована в 1849 году. Томсон наконец- то, через некоторое время после публикации труда об абсолютной температурной шкале, получил экземпляр «Рассуждений» Карно и по просьбе Форбса — в то время преподавателя Эдинбургского

университета — написал свою работу, в которой познакомил коллег с трудом Карно, почти неизвестным во Франции и совсем неизвестным в Великобритании.

ЭКСПЕРИМЕНТ ТОМСОНА

При подготовке по просьбе Форбса сообщения о «Рассуждениях» Карно Томсон придумал способ, который позволял ему получать лед без механических усилий. Устройство основывалось на машине Карно, работавшей между двух полюсов, представлявших собой одинаковые объемы воды температурой 0˚С. Извлечение тепла из одного из них и его передача другому приводили к тому, что вода первого полюса превращалась в лед, и для этого не требовалось никакой механической работы. Лед без каких-либо усилий! Томсон рассказал об открытии брату Джеймсу, который сразу же увидел проблему. Тогда уже было известно, что при замерзании вода увеличивается в объеме. Если у машины, предложенной Томсоном, имелся бы поршень, это увеличение объема производило бы над ним работу, то есть получилась бы машина, способная производить механическую работу из ничего, а это невозможно. Джеймс предложил, что некоторое давление, оказанное на лед, возможно, могло бы слегка снизить температуру таяния. Если это так, то когда лед попытался бы произвести работу, сдвигая поршень, увеличилось бы давление на сам лед, и он бы растаял, уменьшив свой объем, следовательно, при этом исчезла бы возможность сдвинуть поршень.

Проверка в лаборатории

Томсон поставил эксперимент в своей новой лаборатории. Он применил давление в 16, 8 атмосферы и выяснил, что температура точки замерзания уменьшилась на 0, 232 ˚ F (примерно 0, 129 ˚С). Основываясь на экспериментальной информации о коэффициенте расширения замерзающей воды, ученый вычислил, какое уменьшение температуры соответствует этому давлению, и получил 0, 227 ˚ F. Это замечательное соответствие теории и эксперимента подтолкнуло его к гипотезам, основанным на теории Карно.

Для Томсона не было лучшего доказательства истинности теоретического принципа, чем его способность предсказать неизвестные факты, которые позже подтвердились бы экспериментально. Кроме того, этим экспериментом Томсон оправдал усилия, затраченные на оборудование лаборатории, которая позволила не только улучшить обучение студентов, но и проводить научные исследования. Результаты этой работы были опубликованы в « Трудах Эдинбургского Королевского общества» в январе 1850 года.

В своих размышлениях Томсон, кажется, играет с основным понятием физики - сохранением энергии. Но в то время понятие энергии не имело того значения, которое есть у него сегодня, более того, тепло и работа не воспринимались (по крайней мере, самим Томсоном) как два различных аспекта этого понятия. Джоуль уже заявлял, что различные формы энергии могут переходить одна в другую, но ни при каких обстоятельствах общая энергия не может быть создана или разрушена. Томсон, основываясь на видении Карно, не нашел решения вопроса, хотя он сам в некотором роде наметил его. Действительно, в одном из примечаний к упомянутой работе ученый писал:

«Идеальная теория тепла строго требует ответа на этот вопрос, но никакого ответа не может быть дано при настоящем состоянии науки. Несколько лет назад мы могли бы сказать то же самое о механическом эффекте, потерянном во флюиде, приведенном в движение внутри закрытого твердого сосуда с помощью внутреннего трения; но в этом случае решение трудности лежало бы в открытии господина Джоуля об образовании тепла внутренним трением движущегося флюида. Воодушевившись этим примером, мы можем ожидать, что этот сбивающий с толку вопрос теории тепла, перед которым мы остановились на данный момент, будет рано или поздно решен. Может показаться, что этой трудности можно полностью избежать, если отказаться от основной аксиомы Карно. [...] Но если мы это сделаем, то столкнемся с другими многочисленными трудностями, которые нельзя преодолеть без дополнительных экспериментальных исследований и полной перестройки теории тепла с оснований. На самом деле мы должны ориентироваться на эксперименты - как для проверки аксиомы Карно и объяснения трудности, которую мы только что рассмотрели, так и для создания новой и полной базы теории тепла».

Казалось, все указывает на то, что позиция Томсона начала меняться, но потребовалось еще некоторое время, чтобы ученый принял новую картину. И перед ним сразу предстала новая трудность, решение которой он не желал или не мог принять, хотя оно было относительно очевидным. Пользуясь результатами Реньо о зависимости температуры от способности пара поглощать тепло, Томсон вычислил то, что назвал коэффициентами Карно, которые позволяли найти механический эффект, производимый взаимообменом единицы тепла с двумя полюсами машины Карно. К своему удивлению, ученый выяснил, что эти значения зависят от температуры: они тем больше, чем меньше температура. Это противоречило его гипотезе (выдвинутой для предложения своей абсолютной шкалы) о том, что производительность цикла Карно зависит только от разницы температур между полюсами. Сам Джоуль, которому Томсон послал результаты, жалуясь на их несостоятельность, понял: эти числа просто показывают, что производительность цикла обратно пропорциональна температуре.

Через год Рудольф Клаузиус (1822-1888), немецкий физик и математик, проанализировав проблему, объявил очевидное решение: в цикле Карно не все тепло от теплого полюса передается холодному полюсу - часть его превращается в работу. И эта часть, превращающаяся в работу, соответствует наблюдениям Джоуля о зависимости производительности цикла от температуры.

Те же выводы были сделаны Ранкином, в 1850 году опубликовавшим работу «0 механическом действии тепла», в которой он придерживался идеи об атомной структуре материи. Для него материя была всего лишь скоплением молекул, которые он представлял как крошечные вихри, способные совершать вращательные или колебательные движения. С помощью значительного математического аппарата Ранкии разработал уравнения, связывавшие термодинамические переменные (объем, давление, температуру), для воздуха и водяного пара, приняв с некоторыми оговорками эксперименты Джоуля и не отменяя принципа Карно. По мнению Ранкина, тепло было связано с большим или меньшим движением составляющих вихрей. И, что самое главное, поскольку тепло и механическая работа, будучи двумя разными формами движения, стояли для него на одном и том же уровне, переход одного в другое не создавал никакой проблемы, как это было у Томсона.

Сегодня неуступчивость Томсона относительно теории Карно кажется удивительной. В других проблемах, таких как электромагнетизм, он был гораздо более открыт к согласованию

различных точек зрения. И это удивительно, если учесть, что решение Клаузиуса не исключало общих выводов Карно. Как сказал сам Клаузиус, «абсолютно необязательно полностью отвергать теорию Карно». Да и сам Карно не держался так сильно за собственные идеи. В его записках, обнаруженных через некоторое время после его смерти, читаем:

«Всегда, когда разрушается движущая сила, существует одновременное производство некоторого количества тепла, точно пропорциональное разрушенной движущей силе. И наоборот, всегда, когда происходит разрушение тепла, образуется движущая сила».

Это то же самое, что говорил Джоуль десять лет спустя.

ЗАКОНЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

В начале 1851 года Томсон был избран фото Лондонского королевского общества. В то время он только что открыл явление, известное сегодня как эффект Томсона. Ученый изучал образование тепла в проводнике, по которому шел ток, при этом концы проводника были нагреты до разной температуры, и заметил, что, помимо образования тепла в соответствии с эффектом Джоуля, некоторое его количество могло производиться или поглощаться в зависимости от направления тока. Анализ этого эффекта позволил Томсону объяснить два других известных термоэлектрических эффекта — Зеебека и Пельтье.

В 1852 году Томсон вместе с Джоулем начал работать над рядом экспериментов по тепловым эффектам. Результатом этих исследований было открытие эффекта Джоуля — Томсона, в котором описано изменение температуры газа при прохождении через сужение или пористую пробку, без обмена теплом с окружающей средой. Почти все газы, за исключением таких, как водород, гелий и неон, при этом процессе охлаждаются, что и используется в холодильных системах.

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ

Под названием термоэлектрических эффектов известно три физических явления: эффект Зеебека, открытый в 1821

году немецким физиком Томасом Иоганном Зеебеком, эффект Пельтье, открытый в 1834 году французским физиком Жаном Шарлем Атаназом Пельтье, и эффект Томсона, открытый в 1851 году Уильямом Томсоном.

Эффект Зеебека

Он состоит в появлении электрического тока (который можно зафиксировать с помощью амперметра) в цепи, образованной двумя биметаллическими соединениями, когда между этими соединениями устанавливается разница температур (см. рисунок 1). Зеебек открыл это явление, когда заметил, что компас вблизи этой цепи смещается. Самое прямое применение эффекта — термопара, то есть прибор, позволяющий определить на основе произведенного тока разницу температур между горячей и теплой узловыми точками.

Также этот эффект используют термоэлектрические генераторы, превращая остаточное тепло (например, на заводе по производству электричества) в дополнительное электричество.

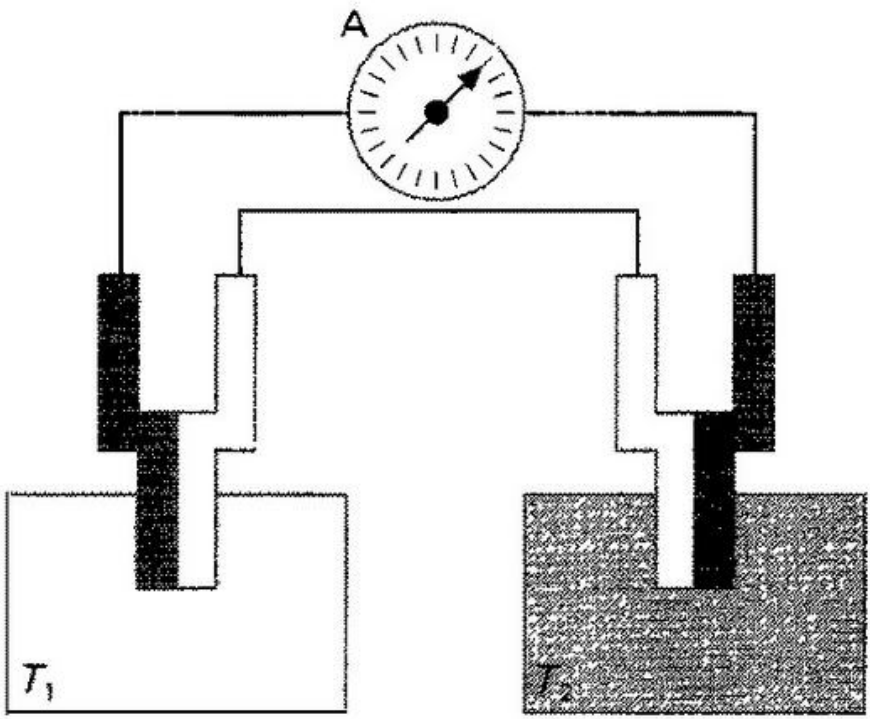


РИС 1
Эффект Зеебека

Эффект Пельтье

Он проявляется при пропускании тока через соединение двух различных металлов, при этом производится или поглощается тепло. В соответствии с законом Джоуля при протекании тока через вещество производится некоторое количество тепла (QДжоуль), пропорциональное квадрату силы тока. Пельтье также заметил, что в соединении этих двух материалов тепло производится (+QПельтье) или поглощается (-QПельтье) в зависимости от направления движения тока, которое можно инвертировать, изменив полюса батареи (см. рисунок 2). На этом эффекте основан принцип действия тепловых насосов и термоэлектрических холодильников.

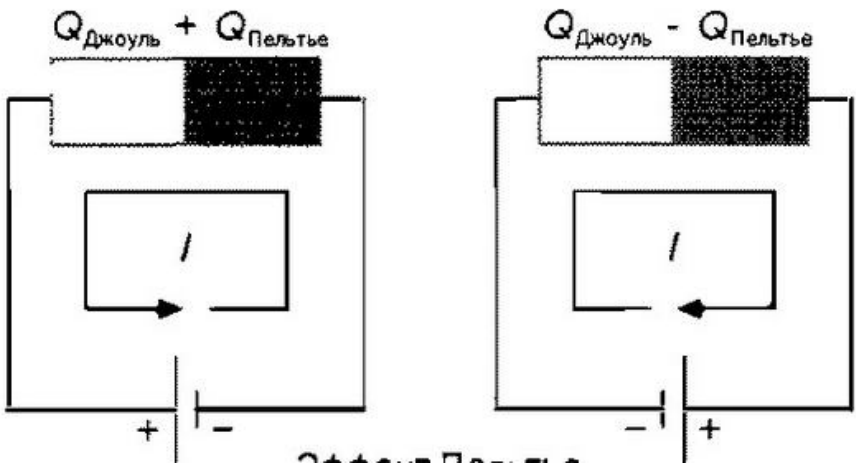


РИС 2
Эффект Пельтье

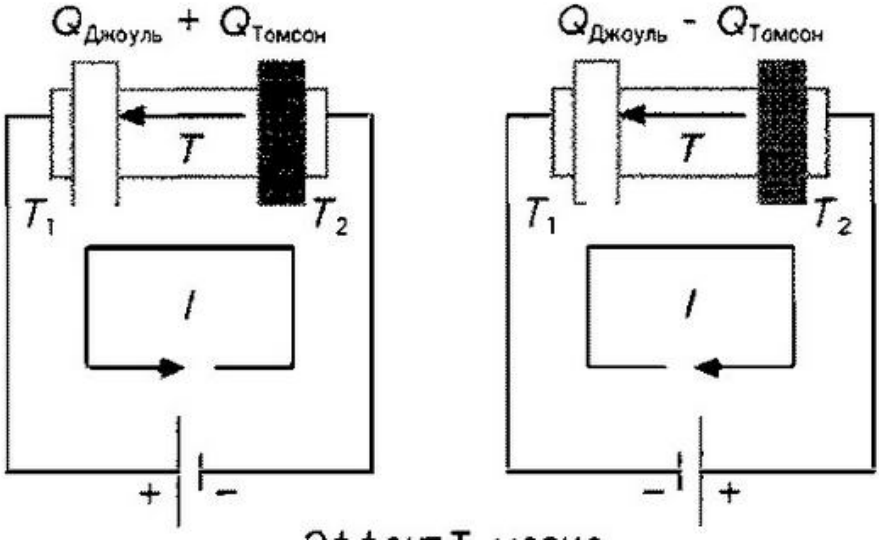


РИС 3
Эффект Томсона

Эффект Томсона

Это нагревание или охлаждение проводника, концы которого имеют разную температуру, когда по нему течет ток. Помимо тепла, вызванного эффектом Джоуля, тепло производится (+QТомсон) или поглощается (-QТомсон) в зависимости от направления тока. Изучив открытый эффект, Томсон смог объяснить два остальных эффекта. Открытое им явление используется при охлаждении. Во всех трех случаях существует зависимость от конкретных используемых металлов, что позволяет при подходящем сочетании вызвать необходимые эффекты в соответствии с конкретными техническими потребностями.

Вклад Томсона вылился в работу «О динамической теории тепла», и это исследование может считаться первым трактатом по общей термодинамике. В шести статьях, представленных Эдинбургскому королевскому обществу, он продемонстрировал радикальное изменение своих позиций по теории теплоты. В первой из них, которая вышла в марте 1851 года, Томсон заявил об отходе от теории теплорода, с одобрением отозвался об экспериментальных результатах Джоуля и немецкого физика и врача Юлиуса фон Майера (1814-1878), которые считал

основополагающими на тот момент, а также упомянул работы Клаузиуса и Ранкина как важные. В своих рассуждениях он избегал предположений о природе тепла или материальных посредников и исследовал в качестве источника информации и инструмента проверки самой теории исключительно экспериментальные факты. Важно то, что Томсон, похоже, вновь принял открытую позицию, определенную в целях работы:

« 1. Показать, какие изменения следует сделать в выводах, к которым пришел Карно [...] в отношении движущей силы тепла, если принять гипотезу динамической теории [тепла], противоположную основной гипотезе Карно.

2. Показать значение в динамической теории числовых результатов, выведенных из наблюдений Реньо о паре и сообщениях [Королевскому] Обществу, вместе с докладом о теории Карно, автором данной статьи; и показать, что если связать эти числа [...] с механическим эквивалентом тепловой единицы, полученным Джоулем, можно получить полную теорию движущей силы тепла. [...]

3. Показать некоторые значительные отношения, которые связывают физические свойства всех веществ, полученные посредством рассуждения, аналогичного рассуждению Карно, но основанных частично на противоположном принципе динамической теории».

Томсон доказал, что «любая теория движущей силы тепла основывается на двух следующих пропозициях, которым мы обязаны, соответственно, Джоулю и Карно с Клаузиусом»:

«Проп. 1 (Джоуль). Когда равные величины механического эффекта производятся любой средой из любых тепловых источников или теряются в чисто тепловых эффектах, те же самые величины тепла исчезают или производятся.

Проп. 11 (Карно и Клаузиус). Если когда машина работает в обратную сторону, все механические и физические средства каждой части ее движений обратимы, то она производит из заданного количества теплоты такой же механический эффект, какой может произвести любая термодинамическая машина, с теми же самыми температурами источника и охладителя».

Первая из этих двух пропозиций — не что иное, как первое начало термодинамики, закон сохранения энергии: при любом, полном или частичном, преобразовании тепла в работу или наоборот сумма обеих величин остается постоянной. Однако

Томсон не первым сформулировал этот закон. В том или ином виде его провозглашали многие исследователи, и никто не сомневался в его справедливости. Возможно, имеет смысл выделить двоих. Во-первых, это Джоуль, доказавший этот закон своими экспериментальными исследованиями. Во-вторых, это немецкий врач и физик Герман фон Гельмгольц (1821-1894), в 1847 году опубликовавший работу «О сохранении силы», в которой он на самом деле изучал сохранение энергии. (Понятия силы и энергии в то время четко не разделялись.)

Когда ты сталкиваешься с трудностью, ты стоишь на пороге открытия.
Уильям Томсон

Отправной точкой для фон Гельмгольца было отрицание возможности вечного движения, и он выдвинул гипотезу о том, что сумма всех энергий Вселенной (которую он считал конечной) постоянна. Более того, когда какая-то часть одного из видов энергии исчезает, это происходит потому, что она трансформируется в другой тип энергии в равнозначном количестве.

Фон Гельмгольц уже давно оставил теорию теплорода и не рассматривал теорию Карно. В своих работах он применял правила сохранения энергии не только для термодинамики, но и для механики, электростатики и магнетизма.

Вторую пропозицию Клаузиус, первенство которого в ее установлении Томсон полностью признал, доказал на основе следующей аксиомы: «Невозможно, чтобы машина, которая работала бы сама, без помощи какого-либо внешнего средства, переносила тепло от одного тела к другому при более высокой температуре». Томсон, в свою очередь, провозгласил аксиому в измененном виде: «Невозможно посредством какого-либо неодушевленного материального средства получить механический эффект из какой-либо порции материи, охлаждая ее ниже температуры самого холодного из окружающих объектов».

Некоторые авторы указывают на то, что эта последняя пропозиция является вторым началом термодинамики, но относительно этого существуют разногласия. На современном языке формулировка этого начала звучит следующим образом: изменение энтропии термически изолированной системы, которая переходит из одного состояния в другое, всегда больше или равно нулю. Когда процесс, которому следует система, обратим, ее энтропия не меняется; когда он необратим, энтропия

растет. В физике обратимым называется процесс (идеальный), в котором система эволюционирует от одного равновесного с окружением состояния (теплового, механического и химического) в другое, проходя через бесконечную последовательность промежуточных равновесных состояний.

Термин «энтропия» был введен Клаузиусом в 1865 году. С его помощью ученый обозначил величину, использованную в предыдущих работах и соответствующую отношению между теплом, входящим в тепловую машину (или выходящим из нее), и абсолютной температурой, при которой происходит поглощение или выброс тепла. Ранкии в 1850 году и Томсон в 1852 году использовали понятия, очень похожие на энтропию Клаузиуса. Энтропия позволяет определить количество тепла (энергии), которое не может быть использовано для производства работы, и ее постоянный рост в необратимых процессах. Следовательно, это другой способ увидеть рассеяние полезной энергии, свойственной этому типу процессов.

В контексте теории Карно мы могли бы провозгласить второе начало термодинамики следующим образом: тепловая машина, которая работает при необратимых процессах, то есть машина Карно, имеет максимальную производительность. И так, можем ли мы приписать самому Карно открытие этого начала? Безусловно, нет. Карно был инженером, рассматривавшим исключительно тепловые машины. Он работал в ошибочном контексте теории теплорода и учел невозможность вечного движения только в качестве отправной точки своей теории. К окончательной формулировке начала привел теоретический вклад Ранкина, Клаузиуса и Томсона. Приписывать кому-то из них открытие начала было бы смело, если не ошибочно, хотя многие считают, что Клаузиус, изобретатель ключевого названия, заслуживает этого больше всего.

В своей работе о новой динамической теории тепла Томсон вернулся к парадоксу, провозглашенному в докладе о принципе Карно. Сегодня ответ на вопрос, который тогда встал перед ученым, почти очевиден: тепло, переданное от теплого тела к холодному через твердую среду, оказывается «безвозвратно потерянным для человека и, следовательно, «бесполезным», хотя и не уничтоженным». Позже Томсон прояснил это утверждение: потерянное тепло распределяется по объему твердого посредника, и получить от него какую-либо дополнительную работу невозможно. Это разъяснение вылилось в другую примечательную статью — «Об универсальной тенденции природы к рассеянию механической энергии»,- опубликованную в 1852 году. В этой работе Томсон установил понятия «статической» и

«динамической» энергии, или, как их называют сегодня, потенциальной и кинетической в соответствии с терминами, введенными Ранкином и позже — самим Томсоном.

В своей статье ученый рассуждал об обратимости и необратимости природных процессов. Томсон говорил, что все естественные процессы необратимы, и это предполагает следующее:

«Земля в течение конечного периода времени в прошлом должна была быть и в течение конечного времени в будущем должна будет стать неприспособленной для жизни человека в том виде, в каком она предстает сегодня, если только не окажутся осуществленными или на грани осуществления операции, невозможные в рамках законов, которым подчиняются операции, о которых сегодня известно, что они работают в материальном мире».

«Тепловая смерть» Земли, о которой объявил Томсон и о которой также говорили фон Гельмгольц и Клаузиус, должна быть конечным состоянием Вселенной, рассматриваемой как единое целое. В более точной (и современной) формулировке мы сказали бы, что энтропия Вселенной, рассматриваемой как единое целое, растет, и в своем конечном состоянии Вселенная будет иметь максимальную энтропию и равномерную температуру.

Несмотря на то что знание все еще было несовершенным, нет сомнений в том, что работы Ранкина, Клаузиуса, Джоуля, фон Гельмгольца и Томсона способствовали тому, чтобы развеять ореол загадочности, который до этого витал над процессами, затрагивающими тепло. Способность Томсона к синтезу лаконичных понятий из разрозненных фрагментов знания позволила добиться того, чтобы новая дисциплина, термодинамика (термин, введенный самим Томсоном), начала свой путь как часть физики. «За исследования по электричеству, движущей силе тепла и другим темам» Королевское общество наградило ученого в 1856 году Королевской медалью.

Томсон и фон Гельмгольц испытывали взаимное восхищение. Последний как-то сказал:

«В любом случае мы должны восхищаться проницательностью Томсона: он в символах математической формулы, известной очень давно, в которой говорится только о тепле, объеме и давлении тел, был способен различить следствия, затрагивающие целую Вселенную».

Научная карьера фон Гельмгольца была довольно любопытной: он начинал как врач, а закончил как физик, пройдя через физиологию и изучение физики и математики, необходимых для понимания моделей и теорий, развивавшихся в его время. Это дало ему обширные знания в различных научных дисциплинах. Его знакомство с Томсоном состоялось в 1855 году. Удивленный фон Гельмгольц писал жене:

«Так как это один из самых выдающихся физиков и математиков в Европе, я ожидал, что встречусь с человеком несколько моложе меня, и был немало удивлен, когда передо мной появился чрезвычайно светловолосый человек с юным, почти женственным обликом. […] Я должен добавить, что он превосходит всех великих ученых, которых я знаю лично, в остроте, ясности и скорости ума настолько, и я иногда чувствую себя неповоротливым в сравнении с ним».

Удивление фон Гельмгольца имело под собой основания: Томсону исполнился только 31 год.

ГЛАВА 3
Томсон-инженер

Кроме того что Уильям Томсон внес значительный вклад в становление термодинамики, он также был прекрасным инженером, работавшим над разнообразными темами. Пользуясь той же методикой, которая принесла ему успех в науке, он приступил к решению различных технологических проблем, получив несколько патентов и участвуя в масштабных проектах.

Вся эта деятельность позволила ученому заработать огромное состояние.

В 1889 году была образована компания Niagara Falls Power Company для строительства завода по производству электроэнергии на Ниагарском водопаде. Предприятие рассчитывало на участие Cataract Construction Company в качестве дочерней компании и на финансирование со стороны магнатов Уильяма Вандербильта, Джона Моргана и Джона Астора (последний считался самым богатым человеком своего времени, он погиб при крушении «Титаника»). Президентом компании был Эдвард Адамс. Cataract Construction Сотрапу финансировала создание Международной ниагарской комиссии, в состав которой вошли Уильям Анвин, британский специалист по гидравлике, Теодор Турреттини, швейцарский инженер с обширным опытом строительства гидростанций, Элётер-Эли-Никола Маскар, французский физик, исследователь в сфере оптики, электромагнетизма и метеорологии, Коулмен Селлерс, американский инженер и исследователь, и Уильям Томсон, возглавивший комиссию.

Целью комиссии было решение двух важных проблем: как вырабатывать электричество на водопаде и, особенно, как передавать его на большие расстояния для коммерческого использования. Первая проблема была решена довольно легко с помощью турбин, построенных женевской компанией Faesch & Piccard. Однако передача произведенной энергии была в то время довольно сложным делом. Комиссия объявила конкурс решений со значительной премией (22 тысячи долларов), и в итоге была принята трехфазная система переменного тока, которую за несколько лет до этого изобрел сербский инженер Никола Тесла (1856-1943).

Компания Westinghouse Electric & Manufacturing Company отвечала за монтаж систем. Станция произвела первую энергию 26 августа 1895 года, а 15 ноября следующего года произведенное

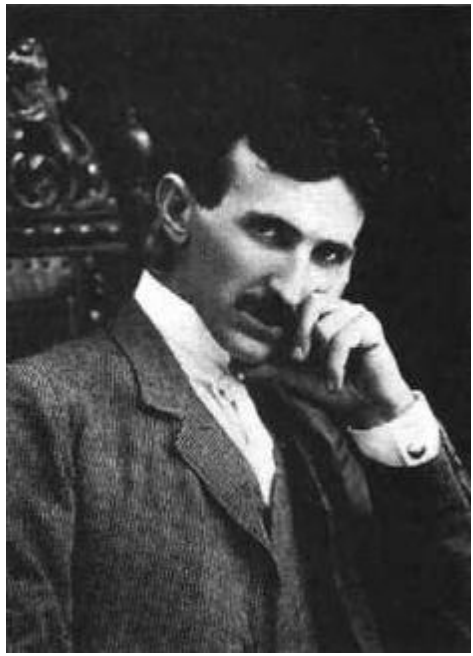
электричество дошло до города Буффало, расположенного на расстоянии примерно 30 км.

В 1890 году Томсон был избран президентом Королевского общества, сменив на этом посту своего друга Стокса. В то время он уже носил титул сэра: королева Виктория посвятила ученого в рыцари за участие в инженерном проекте по прокладке трансатлантического телеграфного кабеля, что принесло ему международную известность.

НИКОЛА ТЕСЛА, ВЫДАЮЩИЙСЯ ИНЖЕНЕР

Никола Тесла родился 10 июля 1856 года в Смиляне (сегодня — Хорватия) и с 1875 года изучал электротехнику в Университете Граца (Австрия).

В 1884 году он приехал в Нью-Йорк, где изобретатель и предприниматель Томас Алва Эдисон принял его на работу в Edison Machine Works. В 1887 году Тесла сконструировал индуктивный мотор, питающийся от переменного тока, а в 1888 году начал работать с американским изобретателем Джорджем Вестингаузом. Разработки талантливого серба были связаны с переменным током и многофазным питанием и изучением характеристик вращающихся магнитных полей. В 1893 году Тесла сконструировал первый радиопередатчик— за несколько лет до того, как итальянец Гульельмо Маркони запатентовал подобный прибор.



Война токов

В том же году он столкнулся с Эдисоном в так называемой войне токов: Тесла и Вестингауз были убеждены, что именно переменный ток позволяет передавать электроэнергию на большие расстояния. Эдисон выступал за постоянный ток, хотя существовал ряд аргументов против этого. Закон Джоуля указывает на то, что потери тепла пропорциональны квадрату силы тока, проходящего через проводник. Мощность, с одной стороны, задана произведением силы тока на напряжение. Следовательно, можно увеличить мощность, повысив напряжение, но оставив прежнюю силу тока и, значит, не увеличивая потерь тепла. В случае с переменным током напряжение легко увеличивается с помощью трансформатора, что в случае с постоянным током невозможно. В 1893 году предприятие Westinghouse Electric получило контракт на освещение Международной выставки в Чикаго и на проект гидроэлектростанции на Ниагарском водопаде. Любопытно, что строительство линий электропередачи в город Буффало (он первым получил энергию завода) было поручено компании Эдисона General Electric, которая, однако, вынуждена была пользоваться патентами Теслы. Тесла умер в Нью-Й1орке 7 января 1943 года — похоже,

он к тому времени был разорен. В 1960 году на Генеральной конференции по мерам и весам было принято решение дать единице измерения плотности магнитного потока (или магнитной индукции) название «тесла».

Тесла внес больший вклад в электрическую науку, чем кто-либо до него.
Уильям Томсон

ТРАНСАТЛАНТИЧЕСКИЙ КАБЕЛЬ

Прокладка первого трансатлантического телеграфного кабеля оказалась очень масштабным предприятием для своего времени. После пяти попыток к сентябрю 1866 года два кабеля соединили Фойлхоммерум Бей на острове Валентия (Ирландия) с Хартс Контентом (Ньюфаундленд) и Лабрадором (Канада). Инициатором проекта был Сайрус Филд, американский финансист и бизнесмен, который решил реализовать идею Фредерика Гисборна, канадского изобретателя, мечтавшего проложить телеграфную линию между различными территориями Новой Шотландии (Канада). В 1856 году совместно с англичанами — инженером-телеграфистом Джоном Бреттом и инженером-электриком Чарльзом Брайтом — Филд основал Atlantic Telegraph Company, имевшую целью продолжить и коммерчески эксплуатировать кабель между Европой и Америкой. В качестве главного электрика к компании присоединился Эдвард Уайтхаус. Проект получил одобрение американца Сэмюэла Морзе, одного из авторов кода, носящего его имя. Филд добился частичного финансирования проекта со стороны правительств Великобритании и США, а также сам пожертвовал четверть необходимых средств, которая составила примерно 10 миллионов евро по сегодняшнему курсу.

Первая попытка прокладки состоялась в 1857 году, в ней участвовали два самых крупных военных корабля того времени — «Агамемнон» (со стороны Британии) и «Ниагара» (со стороны США). Но уже через день кабель вышел из строя. Летом 1858 года была предпринята вторая попытка. Два корабля встретились на полпути, каждый из них перевозил половину кабеля. После состыковки фрагментов началась прокладка, которая закончилась раньше времени из-за обрыва кабеля «Ниагары»; к тому времени было проложено более 350 км. Через месяц была предпринята новая попытка. В этот раз оба корабля достигли своих берегов.

Королева Виктория и президент Джеймс Бьюкенен обменялись 16 августа первыми сообщениями. Эффективность новой связи была не очень высокой: чтобы послать сообщение королевы, включающее 98 слов, потребовалось 16 часов.

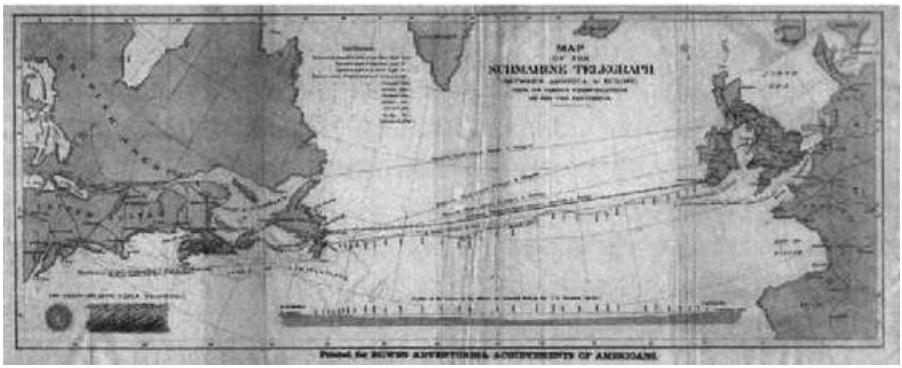
В 1856 году Томсон был назначен научным консультантом Atlantic Telegraph Company. Одной из основных проблем передачи была низкая интенсивность сигнала, затруднявшая расшифровку сообщений. Уайтхаус запатентовал устройство, малочувствительное к получению и требовавшее использования высокого напряжения при отправке, чтобы гарантировать минимально различимый сигнал. Решение поддержали Фарадей и Морзе, но Томсон считал, что оно вызовет проблемы, в частности может повредить изоляцию кабеля.

По этой причине Томсон выступал за использование низкого напряжения, а так как это предполагало чрезвычайно слабые сигналы, разработал принимающее устройство, которое назвал зеркальным гальванометром и запатентовал в 1858 году. На самом деле ученый улучшил изобретение, сделанное немецким физиком Иоганном Христианом Поггендорфом в 1826 году.

ПРЕДШЕСТВЕННИКИ ТРАНСАТЛАНТИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ

Одним из первых ученых, которые говорили о возможности использования подводных телеграфных кабелей, был испанец Франсиско Сальва-и- Кампильо - врач, физик и метеоролог, который в конце XVIII века предложил проложить такой кабель между Аликанте и Пальмой-де-Мальоркой. В начале IX века немецкий врач и изобретатель Самуэль Томас фон Зёммеринг, эстонский дипломат Павел Львович Шиллинг и британский ученый и изобретатель Чарльз Уитстон осуществили различные эксперименты по испытаниям кабелей этого типа, но дальше всего в разработках продвинулся Сэмюэл Морзе, который в 1842 году осуществил пробную передачу сообщения в Нью-Йорке, используя кабели, погруженные в реку Гудзон. Первым рабочим подводным кабелем был кабель, проложенный братьями Брепами (Джон Уоткинс и Джакоб) между Дувром (Англия) и Кале (Франция) через Ла-Манш в 1850 и 1851 годах. В 1852 году был проложен кабель между Лондоном и Парижем, а в 1853 году связанными через Северное море оказались Оксфорд (Англия) и Гаага (Голландия). В 1855 году по всему миру было проложено примерно 600 км подводного кабеля -19 линий, из которых 13

все еще работали, когда был проложен трансатлантический кабель.



Карта трансатлантического телеграфного кабеля.

Гальванометр — это аппарат, позволяющий зафиксировать и измерить электрический ток. Прибор (см. рисунок 1) состоит из катушки, к которой подсоединена индикаторная стрелка. Катушка помещается внутрь постоянного магнитного поля (производимого, например, постоянным магнитом) так, что она может вращаться вокруг оси, перпендикулярной ее плоскости. Когда ток, который нужно измерить, проходит через катушку, она вращается под воздействием магнитного поля, и при надлежащей калибровке можно измерить силу тока на основе угла вращения, определяемого с помощью индикаторной стрелки.

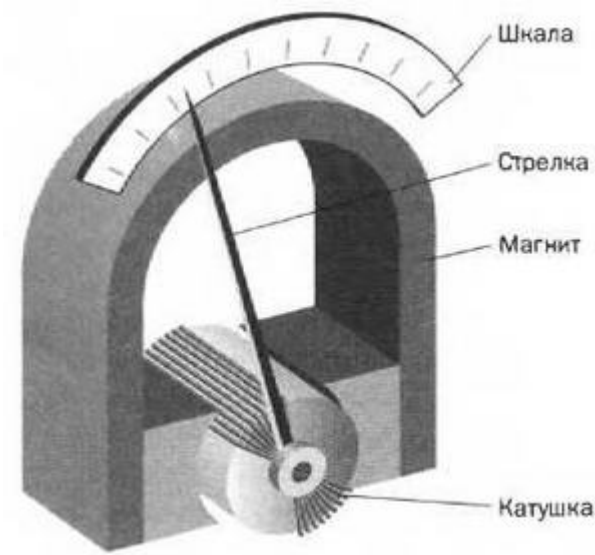


РИС.1

Сигналы, посылаемые по кабелю, представляют собой сообщения на азбуке Морзе, то есть последовательность точек и

тире. Каждый из этих символов обозначался с помощью тока различного знака. Точки и тире, следовательно, вызывали перемещение стрелки гальванометра влево и вправо (и наоборот) от положения равновесия, которое соответствовало отсутствию сигнала. Но так как интенсивность сигналов при получении была очень низкой, возникали сложности в определении: так сдвинулась стрелка или нет.

Томсон изменил конструкцию гальванометра (см. рисунок 2 на следующей странице). Он убрал стрелку и увеличил катушку, которая стала неподвижным элементом устройства. В центр катушки, внутрь воздушной камеры, он поместил небольшое искривленное зеркало, повешенное на тонкой шелковой нити, с крошечными магнитами, прикрепленными к его задней части. На зеркало он направил узкий луч света от лампы, который после отражения проецировал световую точку на шкалу, расположенную на расстоянии нескольких метров. Когда ток, принимаемый в кабеле, вызывал вращение катушки, магниты заставляли вращаться зеркало, и световая точка перемещалась в ту или иную сторону от нулевого деления шкалы. Воздух в камере, где было расположено зеркало, сжимался, в связи с чем колебания, которые могли возникнуть после каждого сигнала, максимально сокращались. Увеличенное отражение позволяло намного легче различить движения, даже когда они были очень незначительными. Зеркальный гальванометр также использовался для обнаружения дефектов в конструкции кабелей. Томсон придумал и другие средства для их применения на борту при прокладке кабеля, чтобы собственные движения корабля не вызывали нежелательных перемещений стрелки.

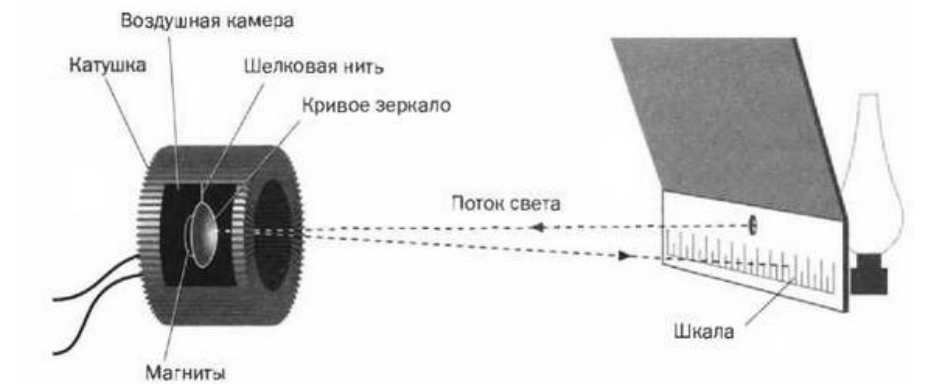


РИС. 2

Спор между Томсоном и Уайтхаусом было сложно разрешить, потому что один оппонент находился на европейском конце кабеля, а второй — на американском. Сначала Уайтхаус как

главный электрик проекта настаивал на своем мнении, но Томсон был уверен: высокое напряжение способно повредить изоляцию кабеля. В результате интенсивность принятого сигнала снизится, и для решения этой проблемы потребуется еще больше увеличивать напряжение. В итоге так и вышло, и участники проекта начали использовать зеркальный гальванометр, однако кабель уже был поврежден. Через несколько дней он перестал работать, и на компанию обрушилась критика за то, что она наняла Уайтхауса, который на самом деле был врачом в отставке и электриком-самоучкой, то есть не имел необходимой квалификации.

КОД МОРЗЕ

Сэмюэл Финли Бриз Морзе родился в Бостоне (США) 27 апреля 1791 года и умер в Нью-Й1орке 2 апреля 1872 года. Он был изобретателем и художником.

Альфред Вейл и сам Морзе разработали зашифрованный язык для отправки сообщений по телеграфу. Итоговый код получил название кода Морзе, буквы и числа в нем были представлены последовательностью точек и тире, которые соответствовали звукам определенной длительности: уточки была минимальная длительность, а у тире - тройная длительность по сравнению с точкой. Между символами одной буквы (или числа) устанавливается нулевая длительность, равная длительности точки, между буквами одного слова интервал имеет длительность, равную трем точкам, а интервал между словами равен пяти точкам. Очевидно, что способы кодирования точек и тире могут быть другими, и, как уже было сказано, в случае с трансатлантическим кабелем точки и тире соответствовали токам с противоположным знаком. Со входом в употребление радиопередатчиков код Морзе потерял популярность и сегодня используется очень редко. Морзе пытался проложить телеграфные линии в своей стране, но только в 1844 году ему удалось получить разрешение конгресса на прокладку первой линии, которая соединила Балтимор и Вашингтон. Первое сообщение было отправлено 1 мая того же года.

Код Морзе, опубликованный в 1922 году.

Филд довольно долго не предпринимал новых попыток прокладки. В 1864 году он смог достать средства и создал новое предприятие — Telegraph Construction and Maintenance Company, - которое взяло на себя производство кабеля и его прокладку с помощью корабля Great Eastern. Несмотря на то что опыт других, более коротких прокладок, осуществленных в Средиземном и Красном морях, позволил внести значительные изменения в конструкцию кабеля, снова произошел обрыв - на этот раз после прохождения почти 2000 километров. Новая попытка состоялась 15 июля 1865 года.

Филд не отступал от своих намерений. Он создал Anglo-American Telegraph Company и 13 июля 1866 года предпринял новую попытку, опять с помощью Great Eastern. Его команда достигла канадского берега 27 числа того же месяца, а на следующий день выяснила, что кабель работает. Корабль снова вышел в море 9 августа, чтобы найти кабель, потерянный в прошлом году, и дополнить его недостающим куском. А 7 сентября небывалый проект был завершен. Новый кабель работал 6 лет, восстановленный - 12.

После неудачи 1858 года роль Томсона в проекте значительно выросла. Итоговый успех во многом был связан с применением его научного подхода к решению практической проблемы. Первый вопрос, стоявший перед ученым, заключался в необходимости установления строгого контроля над изготовлением кабеля. При двух первых попытках производство поручили двум разным фабрикам, не дав им детальных указаний. Фабрики изготовили фрагменты длиной две мили, и каждый производитель переплел медные жилы кабеля в противоположных направлениях, тем самым сильно затруднив соединение кусков.

Томсон также очень внимательно относился к чистоте используемой меди. Например, он проанализировал проводимость кабеля 1857 года и нашел значительное снижение качества в некоторых его частях. В июне 1857 года он представил Королевскому обществу статью под названием «06 электрической проводимости коммерческой меди», в которой приводил результаты сравнения многочисленных образцов. Так Томсон добился того, чтобы в контрактах на изготовление кабеля 1858 года уточнялись не только вес и размер жил, но и их химический состав, электрическая проводимость, а также оговаривалась необходимость фабричного контроля. В контракте на изготовление такой язык использовался впервые. Также ученый разработал необходимые устройства контроля и добился, чтобы был проверен практически каждый сантиметр кабеля, при этом участки, не удовлетворявшие заданию, отвергались. Томсон - снова впервые - заложил основы того, что сегодня называют контролем качества.

Кроме того, проблемы, стоявшие в то время перед Томсоном, выходили за пределы области электричества. В 1857 году он смоделировал процесс сбрасывания кабеля с кормы корабля, что позволило ему сформулировать дифференциальные уравнения, учитывавшие задействованные силы, и, зная скорость корабля и диапазон углов кабеля при вхождении в воду, ученый смог установить причину разрыва, которая состояла в напряжении, оказанном на кабель системой торможения. Благодаря расчетам Томсона были внесены изменения в процесс сбрасывания кабеля и уточнены детали соответствующих операций.

Постоянный контроль также позволял находить новые характеристики поведения кабеля. Так, в свидетельстве, которое подписали ответственные за проект в 1865 году, значилось:

«Изоляция кабеля сильно улучшается после его погружения в глубокие и холодные воды Атлантического океана, и, следовательно, его проводящая способность значительно

увеличивается. [...] Кабель 1865 года более чем в 100 раз лучше изолирован, чем кабель 1858 года. [...] Электрические проверки могут осуществляться с такой точностью, что это позволяет электрикам определить наличие ошибки сразу же после того, как она произойдет, и очень быстро обнаружить ее местонахождение в кабеле».

ТОМСОН И ТЕЛЕГРАФИЯ

Работа Томсона над проектом прокладки трансатлантического телеграфного кабеля оказалась неблагодарной. Он не получил за нее никакого вознаграждения, поэтому удивляет его преданность этому проекту в течение всего долгого периода его реализации, особенно если учитывать образование Томсона и его предыдущие интересы, в основном связанные с теоретическими научными исследованиями. Его отец и особенно брат Джеймс интересовались практическими вопросами намного больше. Фон Гельмгольц познакомился с Джеймсом во время визита, который нанес в Глазго в 1863 году. Он так отзывался о брате ученого:

«Он уравновешенный человек, полный хороших идей, но его беспокоит исключительно инженерное дело, которым он занимается неустанно днем и ночью, поэтому невозможно заниматься чем-то другим, когда он присутствует рядом. Действительно забавно смотреть, как два брата разговаривают друг с другом, ни один из них не слушает второго, и они не перестают говорить — каждый о своем. Но инженер — самый упрямый из них, и в итоге они всегда начинают ссориться из-за своих тем».

Причины, по которым Томсон так углубился в проблемы телеграфии, были довольно тривиальными. Речь шла о технологии, основанной на использовании электричества. В этой сфере Томсон был экспертом, его интересовали процесс распространения сигналов в металлических проводах и их поведение в изоляторах с научной точки зрения. Но проблемы, связанные с использованием подводных кабелей, привели к тому, что он полностью погрузился в их решение.

В отличие от того, что происходит с наземными кабелями, в которых сигналы с одного конца почти мгновенно и без видимых искажений доходят до другого конца, в случае с подводными

кабелями сигналы принимались с большими трудностями и искажались до такой степени, что часто было сложно различить, действительно получено какое-то сообщение или это просто помехи. Кроме того, в 1823 году английский метеоролог и изобретатель Фрэнсис Рональде заметил, что в закопанных кабелях сигналы подвергаются при передаче значительным задержкам, а под водой этот эффект был выражен еще сильнее.

В 1853 году Джордж Биддель Эйри, английский астроном и математик, а также королевский астроном и директор Гринвичской обсерватории (Англия), пытался проложить телеграфную линию к Парижской обсерватории, чтобы синхронизировать наблюдения, осуществляемые одновременно из обеих точек. Задержка сигналов была для него большой проблемой, и Эйри проконсультировался с английским инженером-электриком Джозайей Кларком, который сравнил поведение кабеля длиной примерно 150 м, свернутого и погруженного в бассейн, с поведением кабеля длиной примерно 2 км, образующего круг над открытой территорией. В первом кабеле были очевидны задержка и потеря четкости сигнала, и это зафиксировал Фарадей, присутствовавший при одном из испытаний.

Следуя, как всегда, своей интуиции, Фарадей дал этому качественное объяснение, которое позже опубликовал в «Философском журнале». Любой электрический сигнал, который передается по кабелю, создает вокруг себя «электронное возмущение». Если кабель окружен сухим воздухом, не происходит ничего значительного. Но вода обладает электрической проводимостью, которой нельзя пренебрегать. Эта проводимость явно больше проводимости сухого воздуха, следовательно, когда кабель погружают в воду, появляются местные индуцированные электрические токи, которые тормозят исходящий сигнал. В статье Фарадей, как это было характерно для него, не приводил никаких конкретных расчетов, ограничиваясь только изложением своего видения проблемы.

Однако публикация Фарадея заинтересовала Уильяма Роуэна Гамильтона, который на собрании Британской ассоциации развития науки в 1854 году, прошедшей в Ливерпуле, обратился к Томсону за консультацией на этот счет. Томсон посоветовал Гамильтону побеседовать со Стоксом, что тот и сделал. Но Стокс не смог решить вопрос и снова передал проблему Томсону, который в итоге сформулировал основные уравнения телеграфии. Сделал он это исключительно чтобы удовлетворить свое любопытство. В первом из писем, которыми Томсон обменялся со Стоксом, после краткого вступления («Когда я перечитывал твое

письмо этим утром, чтобы ответить на него, я понял, что все это должно вычисляться следующим образом») ученый привел все необходимые действия для анализа передачи электрических сигналов в изолированных подводных кабелях.

В декабре этого же года Томсон написал Стоксу письмо, в котором просил его не публиковать полученные результаты, поскольку он совместно с Ранкином и Джоном Томсоном (братом Уильяма, преподавателем медицинской практики в Университете Глазго) подал заявку на патент. При этом Томсон не обладал никакими знаниями в вопросах, связанных с промышленностью и интеллектуальной собственностью. Так, в письме брату Джеймсу он отмечал:

«[Ранкин] предложил взять патент, о чем я не имел никакого представления ранее. Надеюсь, через несколько дней он будет нам предоставлен; между тем не рассказывай ничего из того, что я говорил тебе на эту тему. Не думаю, что смог многое сделать по ней, но, возможно, она окажется продуктивной».

Внезапно, как это часто происходит с учеными, которые вступают в прикладные области, Томсон открыл для себя правила, действующие в промышленной сфере и очень отличающиеся от возвышенных академичексих норм.

Интерес Томсона к технологическим и прикладным аспектам физики не был новым. В этом смысле решающую роль сыграла лаборатория, которую он начал оборудовать, как только приехал в Университет Глазго в 1846 году. Кроме достижения основных целей (дополнять теоретическое образование и получать новые экспериментальные данные, необходимые для развития научных теорий), это помогло Томсону разработать новые измерительные приборы, особенно в области электромагнетизма. Ученый тесно сотрудничал с фирмой James White Optician and Philosophical Instrument Makers: основанная в Глазго в 1850 году, она со временем изготовила и ввела в торговый оборот многие устройства, придуманные Уильямом.

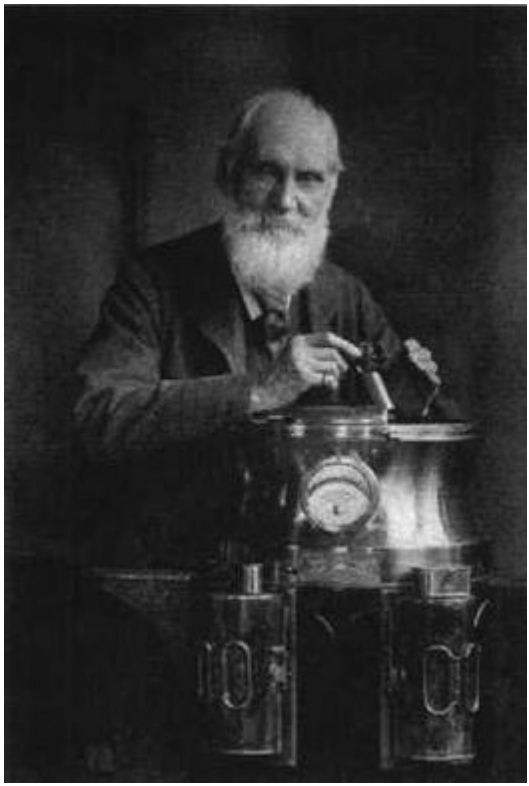
Модель кабеля, изготовленная Томсоном, была относительно простой. Кабель состоял из медной жилы, окруженной изолятором и водоупорной защитой. Томсон предположил, что это равносильно сочетанию сопротивления и конденсатора, особые характеристики которых определялись конкретными деталями кабеля. В этой модели электрическое поведение кабеля было простым: чем больше толщина медной жилы, тем меньше сопротивление; чем шире изолирующий слой, тем меньше соответствующая способность конденсатора. Последний отвечал

за накопление заряда по мере того, как электрический импульс проходил по кабелю. Томсон вычислил время, необходимое сигналу на то, чтобы дойти до другого конца кабеля, и выяснил, что при неизменном значении сопротивления и пропускной способности время пропорционально квадрату длины кабеля. Этот результат для проекта трансатлантического кабеля обескураживал, но Томсон не терял надежды, отмечая, что при достаточно интенсивном сигнале, некотором терпении со стороны операторов и, безусловно, довольно низкой стоимости передачи сигнала общение все же возможно.

Томсон опубликовал эти результаты в статье под названием «Ü теории электрического телеграфа», в которой снова провел аналогию с теорией Фурье: переданный электрический импульс аналогичен теплу, движущемуся через твердое металлическое тело. Томсон очень любил проводить аналогии между проблемами из разных областей, и это его пристрастие было общеизвестным.

Некоторые экспериментаторы, в частности английские инженеры Генри Дженкин и Кромвель Флитвуд Варли, подтвердили расчеты Томсона. Но закон квадратов — как стали называть полученное ученым отношение - вызывал споры. В 1856 году на собрании Британской ассоциации развития науки Уайтхаус представил результаты, противоречащие выводам Томсона. Основываясь на смутных экспериментах и недостоверных гипотезах, он сделал вывод, что время передачи должно быть пропорционально длине кабеля (а не ее квадрату), и не без некоторой чванливости указал:

«И каков, могли бы вы спросить меня, общий вывод, который можно сделать в результате этого исследования о законе квадратов применительно к подводным цепям? Со всей искренностью я могу рассматривать его только как выдумку преподавателей, принужденную и насильственную адаптацию принципа физики, хорошего и истинного в других обстоятельствах, но ошибочно примененного здесь».



Томсон позирует с компасом. Снимок около 1900 года.

Сайрус Филд, инициатор проекта трансатлантического телеграфного кабеля.

Члены Международной ниагарской комиссии, Томсон сидит в

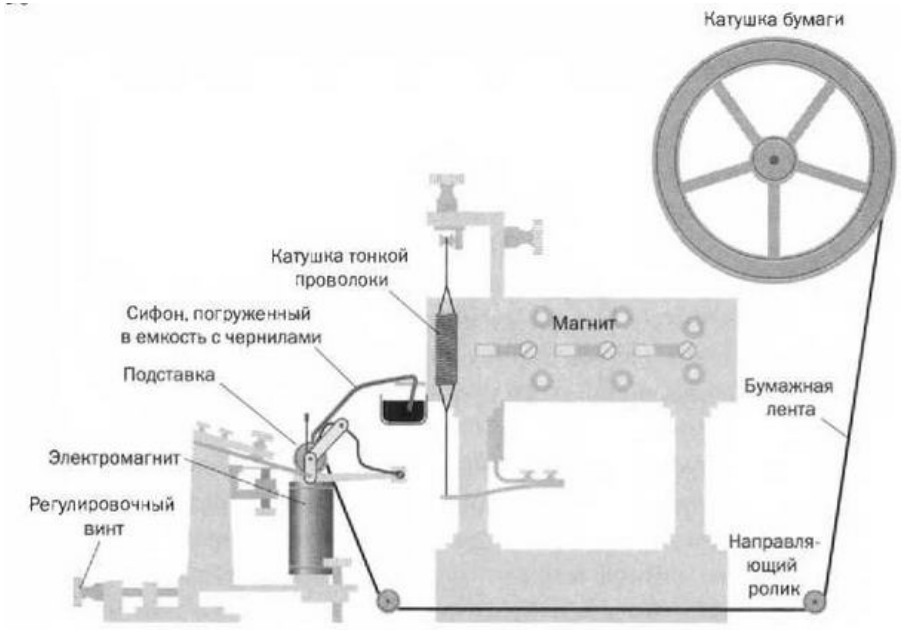
центре.

После этого представления между Томсоном и Уайтхаусом состоялся обмен репликами, во время которого каждый защищал свою позицию. Первый выявил неточиости в экспериментах второго; тот ответил, что расчеты оппонента сделаны на основе идеальной модели. Независимо от того, понял ли Уайтхаус предложение Томсона, также верно, что анализ последнего не был и не мог быть полным. Однако ученый верил в полученные результаты, что полностью подтверждают сказанные во время дебатов с Уайтхаусом слова: «Как и любая теория, эта является всего лишь сочетанием установленных истин». Очевидно, что такой подход не гарантирует абсолютной точности. Подводный кабель был намного более сложным объектом, чем способна описать модель, а с другой стороны - разработка электромагнитной теории также еще не была завершена. И все же у анализа Томсона было два преимущества. Одно - общего характера: рационализация, которая предполагала подход к проблеме с научной точки зрения. Другое - более прагматичное: он объяснял, хотя и очень приблизительно, поведение подводных кабелей.

О том, чем история закончилась, мы уже рассказали. Некоторые замечания Томсона были учтены при строительстве кабелей, и в итоге связь была установлена, а ученый получил титул сэра.

ДРУГИЕ ДОСТИЖЕНИЯ И ИЗОБРЕТЕНИЯ

Не оставляя телеграфии, Томсон с 1867 по 1870 год занимался разработкой так называемого сифонного отметчика (или регистратора). Использование зеркального гальванометра позволило осуществить связь с помощью трансатлантического кабеля, но за световой точкой требовалось постоянное наблюдение. С помощью сифонного отметчика Томсон хотел автоматизировать прием сообщений, которые записывались бы при получении на бумажную ленту. Также ученый занимался поддержанием точности зеркального гальванометра.



В новом устройстве, которое схематически показано на рисунке 3, бумага в катушке и в постоянном магните поменялись местами. Кабель доходил до прямоугольной катушки, которая могла вращаться вокруг своей наибольшей оси между полюсами мощного электромагнита. Движения катушки при приеме сигнала передавались трубке узкого стеклянного сифона, к которому с одной стороны была подсоединена емкость с чернилами, а с другой он опирался на маленькую металлическую подставку, удерживавшую бумажную ленту. Между чернилами и подставкой поддерживалась определенная разница потенциалов. При получении сигнала сифон двигался влево или вправо от своего положения равновесия и одновременно на бумаге появлялись капли чернил, так что на ней вычерчивалась тонкая линия. При отсутствии сигнала сифон чертил прямую линию.

Сифонный отметчик оказался намного более экономичным и достоверным устройством, чем зеркальный гальванометр, поэтому он постоянно использовался при такой связи с помощью подводных кабелей. Также некоторые решения Томсона позволили улучшить другие электрические измерительные приборы. В 1874 году работа ученого в области телеграфного дела была увенчана избранием его президентом Общества телеграфных инженеров (до этого он был членом-основателем и вице-президентом общества).

Другой эмпирический результат, найденный Томсоном, значительно повлиял на конструкцию электромагнитов. Ученый

нашел связь между линейными размерами ядра мягкой стали, длиной медного провода (он наматывается для образования электромагнита), током (им питается магнит) и интенсивностью поля, которое он производит. Стало возможным изготавливать электромагниты, производящие поле одинаковой интенсивности из ядер различного размера, работающих с одной и той же силой тока. Косвенно Томсон установил характерные параметры изготовления электромагнитов.

Не может быть большей ошибки, чем смотреть с презрением на практическое применение науки. Жизнь и душа науки - ее практическое применение.

Уильям Томсон

В области электричества Томсон разработал многочисленные устройства и методы измерения различных показателей. В 1867 году он изобрел квадрантный электрометр, позволявший осуществлять абсолютное измерение электростатического потенциала. В определенной конфигурации этот прибор мог использоваться для измерения атмосферного электричества. Ученый разработал токовые весы для определения единицы силы тока — ампера. В благодарность за его вклад в электрическую стандартизацию Международная электротехническая комиссия на собрании, состоявшемся в Лондоне в июне 1906 года, избрала Томсона своим первым председателем.

Также можно выделить нововведения ученого в морском деле. После смерти супруги в 1870 году он приобрел 126-тонный корабль, который назвал «Лалла Рук». Работа с ним позволила увеличить опыт Томсона в связи с прокладкой кабеля. Также он разработал прибор для исследования морского дна. Раньше использовался лот на веревке, который опускали с борта корабля, пока веревка не ослабевала, когда лот сталкивался с дном. Томсон заменил веревку стальным кабелем и использовал манометр для регистрации давления и косвенного определения глубины. Этот усовершенствованный лот в свое время интенсивно использовался вплоть до 1960 года, в том числе и на Королевском флоте.

Кроме того, бортовые работы в связи с прокладкой подводных кабелей увеличили знания Томсона в мореходном деле и привели к постановке новых проблем. Так, он предложил, чтобы маяки, вместо того чтобы испускать постоянный луч, мигали, передавая уникальную для каждого из них информацию с помощью кода типа Морзе: таким образом моряки получали дополнительные сведения о своем реальном местонахождении. Ученый долго

настаивал на этом своем предложении, и со временем оно начало внедряться на практике.

Также Томсон интересовался морскими компасами, которые он начал изучать около 1870 года, чтобы написать статью для журнала Good Words, издателем которого был его друг. В 1874 году в связи со смертью Арчибальда Смита Томсон выяснил, что тот исследовал отклонения, которым подвергались компасы, используемые на борту кораблей. Если первые корабли изготавливались из дерева, то постепенно в их конструкции использовалось все больше металла, пока они не стали полностью металлическими. Это повышало надежность судна, но порождало новые проблемы. Железо корабля обладало собственным магнитным полем, которое было постоянным и называлось эффектом сильного магнетизма, а в зависимости от своего положения корабль оказывал воздействие на магнитное поле Земли, этот эффект был переменным и назывался эффектом слабого магнетизма.

Также было известно, что привычная на море качка, особенно в случае плохой погоды, или сотрясение, которому подвергается военный корабль из-за отдачи при пушечной стрельбе, расстраивают работу компасов, поскольку меняют слабый магнетизм.

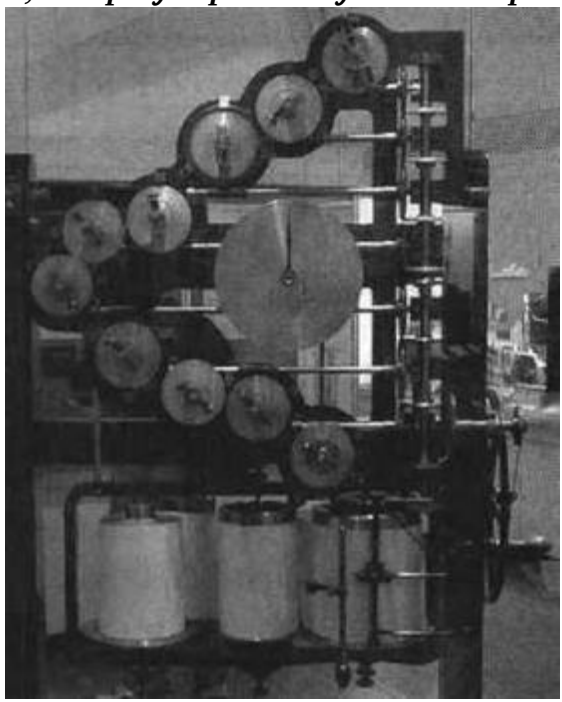
ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР ПРИЛИВОВ

Начиная с 1860 года Томсон начал интересоваться характеристиками приливов, предсказание которых имело большую важность для Британского адмиралтейства, поскольку его корабли бороздили моря всей планеты.

Так стартовал проект предсказания приливов под руководством Томсона, разработавшего гармонический анализатор приливов.

Он вновь использовал разработки гармоник Фурье, проявив свою гениальность. Дэвид Линдли, автор биографии Томсона, писал: «Математика, которую она [эта проблема] включала в себя, принадлежала всем, в основном Лапласу во Франции и Эйри в Англии. Зачаток механизма [расчета] происходил от [его брата] Джеймса Томсона. Но именно Уильям Томсон нашел сочетание теоретических и практических элементов, переформулировал математику доступным образом, развил новшество своего брата в устройство более точного расчета и создал машину, которая делала ровно то, что ей было

предназначено, не требуя при этом участия оператора».



Гармонический анализатор приливов, разработанный Уильямом Томсоном и выставленный в Музее науки в Лондоне.

Эйри изучал проблему и нашел приемлемое решение, включив в компас пару постоянных магнитов, ориентированных определенным образом. Но это решение не было абсолютно удовлетворительным, поскольку позволяло только скорректировать, и то не полностью, действие сильного магнетизма. Позже Смит разработал процедуру коррекции, в которую включался слабый магнетизм, но она была слишком сложной, поскольку требовалось, чтобы каждый корабль прошел ряд измерений, результаты которых следовало обработать и составить таблицы, включающие специфические поправки для каждого конкретного корабля. И все же, несмотря на свою сложность, эта процедура использовалась в британском флоте долгие годы.

Томсон в своем анализе учел другую проблему, связанную с движением стрелки компаса, которая стремилась вращаться вокруг своей оси, выравниваясь в одну линию с осью корабля. Этот чисто механический эффект накладывался на магнитное выстраивание, но мог влиять на движение стрелки, особенно когда она имела больший, чем обычно, вес (такие компасы использовали на некоторых кораблях, полагая, что благодаря своему большему весу такие стрелки будут стабильнее, однако

эффект был обратным). Со временем корабли становились все больше, компасы — тоже, и проблема была все острее.

Решение Томсона казалось очевидным. В задаче участвовали хорошо знакомые элементы: магнитное поле Земли, сильный и слабый магнетизм корабля, намагниченные элементы и динамика. Томсон искал решение, которое не требовало бы от моряков знаний в таких дисциплинах, как физика или математика. Он разработал конструкцию из легких элементов, чтобы избежать динамических эффектов и облегчить компенсацию явлений, вызванных использованием железа в конструкции корабля.

Однако его компас был оценен не очень высоко. Ни Эйри, ни руководство адмиралтейства не поняли улучшений, предложенных ученым. Несмотря ни на что Томсон добился использования своей конструкции на некоторых кораблях и на основании отчетов об эксплуатации и наблюдений пользователей вносил в прибор усовершенствования. К 1880 году компас Томсона начал использоваться на коммерческих судах.

Прикладная работа, которой занимался ученый в эти годы, безусловно, заставила его отложить темы, связанные с базовой наукой. Фон Гельмгольц, навестивший его в 1884 году, написал:

«У меня впечатление, что сэр Уильям может делать нечто лучшее, чем применять свою выдающуюся проницательность к промышленным проектам; его инструменты кажутся мне слишком утонченными для того, чтобы давать их в руки необразованных рабочих и служащих. [...] Он одновременно решает в уме глубокие теоретические проблемы, но у него нет времени спокойно поработать над ними».

Однако уже был близок новый этап в плодотворной научной жизни Томсона.

ГЛАВА 4
Механистическое мировоззрение

В последние годы жизни Томсон придерживался присущего ему механистического представления о физических процессах. Однако новая физика, которая начала появляться, полностью противоречила такому восприятию действительности. Это поставило ученого в несколько маргинальное положение в науке, что было полной противоположностью лидерству Томсона, характерному для начала его карьеры.

После успешной прокладки трансатлантического кабеля между Ирландией и Канадой Томсон участвовал в прокладке в 1869 году французского кабеля, соединившего бухту Пти Мину рядом с Брестом (Франция) с Сен-Пьер и Микелоном в Ньюфаундленде (Канада). Позже этот кабель был протянут до Даксбери (Массачусетс, США). Также в 1873 году ученый вместе с Генри Дженкином выполнял функции инженера в Western & Brazilian Telegraph Company, занимавшейся прокладкой кабеля между Рио-де-Жанейро и городом Пара (сегодня Белен) в Бразилии. Уже находясь на борту судна Hooper, направляющегося в Бразилию, они обнаружили, что кабель поврежден, и сделали остановку на Мадейре для починки. Там Томсон познакомился с предпринимателем и владельцем нескольких винных погребов Чарльзом Блэнди. Томсон и Дженкинс показали двум старшим дочерям Блэнди код Морзе, и те сразу же начали практиковаться, подавая с помощью лампы сигналы кораблю, пришвартованному в порту.

Сэр Уильям вернулся на Мадейру в следующем году, на корабле «Яалла Рук». По легенде, с борта корабля он послал сообщение в сторону дома Блэнди: «Выйдешь за меня замуж?» Последовал ответ: «Да». Правда это или нет, однако Томсон и Фрэнсис Анна, вторая дочь Блэнди, 24 июня 1874 года поженились в часовне британского консульства на Мадейре. Через два дня Томсону исполнилось 52 года. Фанни (как все называли Фрэнсис Анну) было 36. Разлучила их только смерть Томсона. Фанни умерла в 1916 году, через девять лет после кончины Уильяма.

Приехав в Великобританию, пара построила себе дом в Нетерхолле, рядом с Ларгсом, примерно в 50 км от Глазго. Это было одним из первых жилищ в Великобритании с электрическим освещением, которое сначала питалось от батарей, а затем - от газовых генераторов. Томсон также оборудовал дома

лабораторию - свою третью лабораторию, поскольку на «Лалла Рук» у него тоже было помещение, посвященное экспериментам. Можно сказать, что жизнь Уильяма перевернулась. Энергичная Фанни всегда была готова помочь супругу с социальной стороной его деятельности, в которой тот был не особо искусен.

НОВАТОРСКИЙ ТРАКТАТ

Около 1860 года Томсон начал писать учебник по натуральной философии. Он делал это вместе с Питером Гатри Тэтом (1831-1901), шотландским физиком и математиком, занявшим после Форбса кафедру в Эдинбурге. Томсон и Тэт собирались написать трактат, в котором были бы рассмотрены проблемы различных областей физики с точки зрения закона сохранения энергии. Кроме того, они собирались сделать текст полезным для студентов, то есть он не ограничивался бы рассмотрением обычных задач, а охватывал более сложные проблемы, связанные с промышленными разработками (например, паровые машины, телеграфные кабели и так далее). Это был абсолютно новаторский подход. Тэт писал Томсону в 1861 году:

«Я думаю, что мы можем составить в трех средних томах курс экспериментальной физики и математики, более полный, чем существуют (насколько я знаю) на французском и немецком языках. На английском я не знаю ни одного».

Сразу же стало ясно, какие темы следовало осветить в работе: кинематика и динамика, гидростатика и гидродинамика, свойства материи, звук, свет, тепло, электричество и магнетизм - то есть все, что сегодня известно как классическая физика. Томсон и Тэт были первыми, кто решил объединить эти фрагменты знания в одну дисциплину.

Проект учебника по натуральной философии похвален, но он чрезвычайно скучен. В то же время я надеюсь, что он сможет предложить Вам идеи для более ценных работ. Написать такую книгу - значит лучше понять пробелы, которые еще остались в науке.

Герман фон Гельмгольц, письмо Томсону, 1862 год

Однако Тэт во время этой работы столкнулся с гораздо

большим количеством трудностей, чем представлял вначале.

Томсон, занятый тысячью вопросов, очень редко подключался к работе, из-за чего Тэт испытывал постоянное разочарование.

«*Давай разделим работу и возьмемся за нее. В среднем три или четыре (или даже меньше) часов в день приведут нас к книге через шесть недель*», — писал Тэт в 1861 году. «*Я сейчас пошлю тебе просмотренные заголовки, чтобы ты смог оценить, соответствуют ли они твоим представлениям, которые, признаюсь, я не смог четко понять из твоих записей*»,— таким было другое его сообщение, датированное началом 1862 года. «*Я бы хотел, чтобы ты вернул мой набросок главы о свойствах материи с твоими исправлениями и прочим, и как только она будет готова, я перепишу ее тщательно и полно*», — торопил он коллегу, когда спустя некоторое время от Томсона по-прежнему не было никаких новостей. В июне 1864 году терпение Тэта начинало иссякать:

«Мне бы хотелось, чтобы ты продвигался вперед. Эта большая книга очень беспокоит меня. (...] Если ты посылаешь мне только фрагменты, да и то редко, что я могу сделать? Ты мне даже не присылал и намека на то, что ты хочешь сделать в нашей главе о статике жидкостей и газов! Сейчас все очень плачевно; сообщаю тебе, что ты сделал в два раза больше зимой, чем делаешь сейчас. Я послал тебе кучу бумаг на просмотр уже десять дней назад, но от тебя никаких новостей на этот счет. Ты предложил несколько абсурдных задач, которые я не стал утруждаться решать».

Тэт безуспешно, год за годом, пытался получить первый вариант книги для слушателей курса, который он начинал читать. Скажем лишь, что он не единственный потерпел поражение в подобных обстоятельствах. Его друг Стокс как-то обратился к Томсону со словами: «*ты ужасный друг, и тебе следовало бы сделать строгий выговор. Том -«Философских трудов» должен был выйти 30 ноября, а там уже месяц твоя незаконченная статья*». Томсона эти ситуации только забавляли — к еще большему раздражению коллег.

Хотя суть вопросов, затронутых в первом томе -«Трактата», относилась к сфере научных интересов Томсона, труд был издан в 1867 году благодаря исключительно стараниям и усилиям Тэта, и эта публикация имела довольно большой успех. Фон Гельмгольц лично позаботился о том, чтобы сразу после появления оригинальной английской версии был издан перевод на немецкий язык. Второй том был опубликован только в 1874 году: как и предсказывал фон Гельмгольц, рассмотрение некоторых тем,

особенно касающихся упругости, требовало новых математических разработок, которые пока отсутствовали. Важность -«Трактата» высоко оценил Максвелл:

«За то, что разбилась монополия великих мастеров магии и их колдовство стало близко нашим ушам, как обычные слова, следует во многом благодарить Томсона и Тэта. Эти два северных мага первыми без горечи и страха произнесли на родном языке настоящие и подходящие названия динамических понятий, которые маги древности обычно обозначали с помощью произносимых шепотом символов и плохо выраженных уравнений».

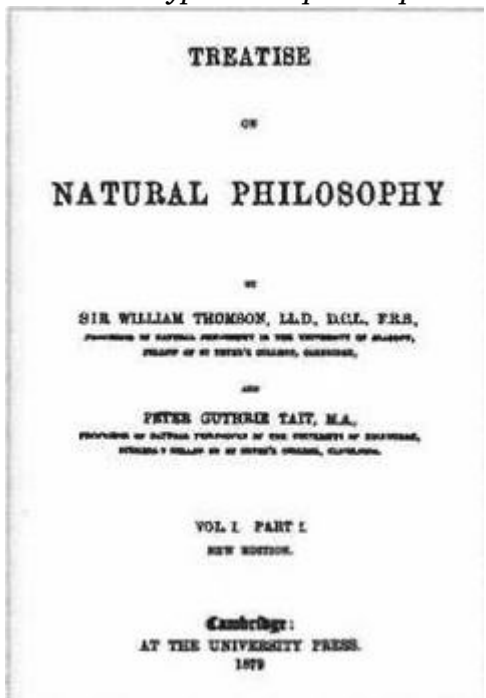
Несмотря на отношение Томсона к «Трактату», порой граничащее с небрежностью, ученый всегда стремился дать понятиям формальное определение и структурировать их в стройную систему.

«ТРАКТАТ О НАТУРАЛЬНОЙ ФИЛОСОФИИ»

Предисловие к первому тому «Трактата» Томсона и Тэта возглавляет цитата из Фурье: «Первичные причины нам неизвестны, но они подчиняются простым и постоянным законам, которые могут быть описаны с помощью наблюдения и изучение которых является предметом натуральной философии». И далее авторы пишут:

Термин «натуральная философия» был применен Ньютоном и до сих пор используется в британских университетах для обозначения исследований законов материального мира и вывода данных о его свойствах, непосредственно не наблюдаемых. […] Наша цель двоякая: дать достаточно точное изложение того, что теперь известно в области натуральной философии, на языке, понятном читателю-нематематику, и снабдить тех, кто имеет преимущество во владении высшей математикой, связанным очерком тех аналитических методов, которыми большая часть этих знаний продолжена на еще не исследованные опытом области. […] Цель, которую мы постоянно имели в виду, состоит в применении великого принципа сохранения энергии. Согласно современным опытным данным, в особенности данным Джоуля, энергия столь же реальна и неразрушима, как и вещество. […] В нашей вводной главе о кинематике рассмотрение гармонического движения естественно приводит к теореме Фурье — одному из наиболее важных и полезных для физики выводов

математического анализа. [...] Во второй главе мы приводим законы движения Ньютона, выраженные его собственными словами с некоторыми его пояснениями, ибо каждая попытка превзойти их до сих пор оканчивалась полной неудачей. Никогда, наверное, ничто столь простое ив то же время всеобъемлющее не приводилось как основа системы ни в одной другой науке. [...] В третьей главе «Опыт» кратко изложены наблюдения и эксперимент как основа натуральной философии.


TREATISE

ON

NATURAL PHILOSOPHY

BY

SIR WILLIAM THOMSON, LL.D., D.C.L., F.R.S.,

AND

PETER GUTHRIE TAIT, M.A.,

VOL. I. PART I.

NEW EDITION.

Cambridge:

AT THE UNIVERSITY PRESS.

1879

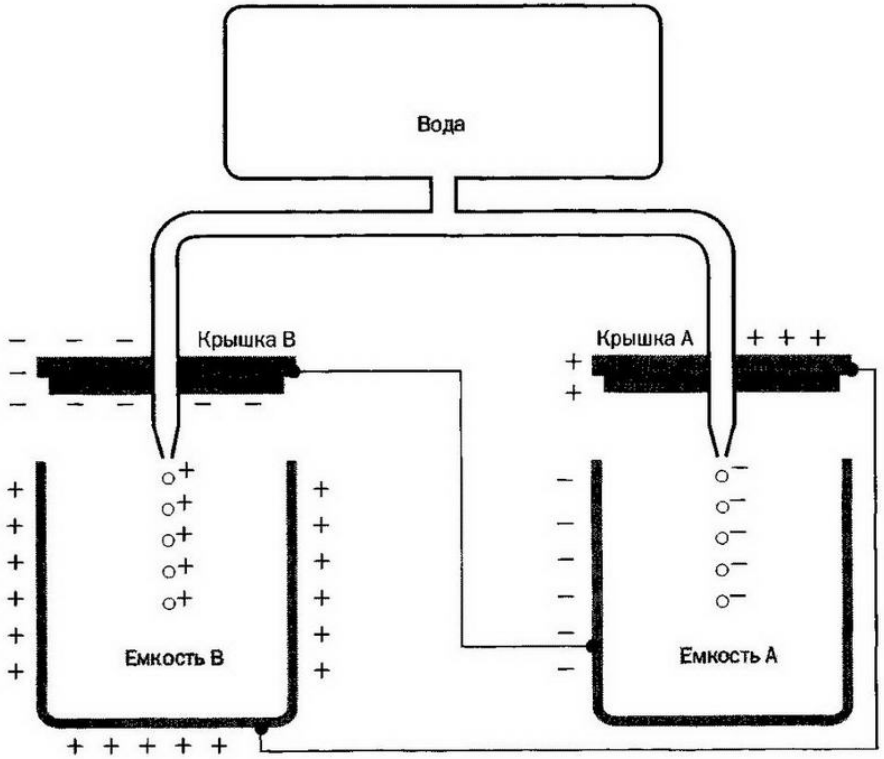
Обложка издания «Трактата о натуральной философии» 1879 года.

Томсон и Тэт объявили, что во второй том будет включено рассмотрение кинетической динамики и, возможно, часть, посвященная свойствам материи; они даже говорили о двух дополнительных томах, которые так и не появились. Второй том увидел свет в 1874 году.

КАПЕЛЬНЫЙ КОНДЕНСАТОР

Капельный конденсатор был изобретен Томсоном в 1867 году. Принцип его работы очень прост. В устройстве имеются два похожих элемента, расположенных как показано на

рисунке. Как видно, каждый из них состоит из металлической емкости, в которой собирается вода, падающая из резервуара через капельницу, пронизывающую металлическую крышку. Эта крышка и емкость находятся на некотором расстоянии друг от друга. Оба элемента располагаются так, чтобы они были соединены электрически и емкость одного была подсоединена к крышке другого, и наоборот. В воде содержится много ионов, и можно предполагать, что одна ее капля может нести с собой некоторое количество заряда (положительного или отрицательного). Предположим, что в емкости А изначально минимальное количество отрицательного заряда. Этот заряд передастся крышке В так, что капли, падающие через них, будут предпочтительно нести положительные ионы, которые будут притягиваться к этой капельнице отрицательным зарядом крышки В. Когда капля упадет в емкость В, она увеличит ее положительный заряд, который передастся крышке А. Эта крышка будет пропускать капли воды с отрицательными ионами, которые, упав в емкость А, увеличат ее отрицательный заряд. Очевидно, что когда будет достигнуто заданное количество заряда, могут появляться нежелательные явления. Например, между емкостями может образоваться вольтова дуга. Также падающие капли могут начать отталкиваться самой емкостью (если они имеют одноименный заряд). Может получиться и так, что капли будут в достаточной степени притягиваться самими крышками (имеющими заряд с противоположным знаком) и уменьшать их заряд.



В некоторых работах он даже достигал этой цели - если только труд не был посвящен очень специфическим темам. Еще в 1856 году в связи с чтением Бейкеровской лекции Томсон структурировал все существующее знание об электродинамических свойствах металлов. Ежегодная Бейкеровская лекция была (и остается до сих пор) знаком признания работы ученого со стороны Королевского общества. Эту традицию ввел английский натуралист Генри Бейкер в 1775 году, и лекцию читали, в частности, Фарадей, Максвелл и лорд Рэлей.

В 1859 году Томсон также сотрудничал с «Циклопедией физическш наук», которую написал его бывший преподаватель (а теперь коллега в Глазго) Джон Никол. Уильям написал для нее статью об атмосферном электричестве — эту тему он исследовал в тот момент. Исследования оказались довольно продуктивными, поскольку позволили определить разницу потенциалов, необходимую для производства искр, в зависимости от густоты воздуха между двумя электродами. А в 1867 году на основании этих исследований ученый сконструировал любопытное устройство — водно-капельный конденсатор. В 1879 году Томсон также написал подробные статьи об упругости и тепле для

«Британской энциклопедии».

В 1883 году ученый получил от Королевского общества медаль Копли за открытие закона всеобщего рассеяния энергии, исследовательскую работу и выдающийся вклад в экспериментальную и математическую физику, особенно в области теорий электричества и термодинамики.

БАЛТИМОРСКИЕ ЛЕКЦИИ

Все преимущества и недостатки Томсона в полной мере проявились в знаменитых Балтиморских лекциях (Baltimore Lectures), которые он прочитал в 1884 году в Америке, в Университете Джона Хопкинса, по завершении конгресса Британской ассоциации развития науки, который в этом году состоялся в Монреале (Канада). В предисловии к переизданию лекций, написанном самим Томсоном в 1904 году, отмечено:

«Когда ректор Гилман пригласил меня прочитать курс лекций на одну из тем физической науки по моему выбору, я с удовольствием принял это приглашение. Я выбрал в качестве темы волновую теорию света, имея целью в большей степени подчеркнуть ее ошибки, чем описать молодым студентам тот удивительный успех, с которым эта красивая теория объяснила все, что было известно о свете до Френеля и Томаса Юнга, что породило волны нового знания, обогатив всю физическую науку».

Это был второй визит ученого в США. В 1876 году он присутствовал здесь в качестве члена жюри секции технических инструментов на Всемирной выставке в Филадельфии, где смог познакомиться с молодым Томасом Эдисоном (18471931), представившим свой автоматический телеграфный приемник. Тогда Томсон также смог поэкспериментировать с другим средством связи на расстоянии — телефоном, который недавно запатентовал британский ученый Александр Грейам Белл (1847-1922), хотя само устройство изобрел в 1860 году итальянец Антонио Санти Джузеппе Меуччи (1808-1889).

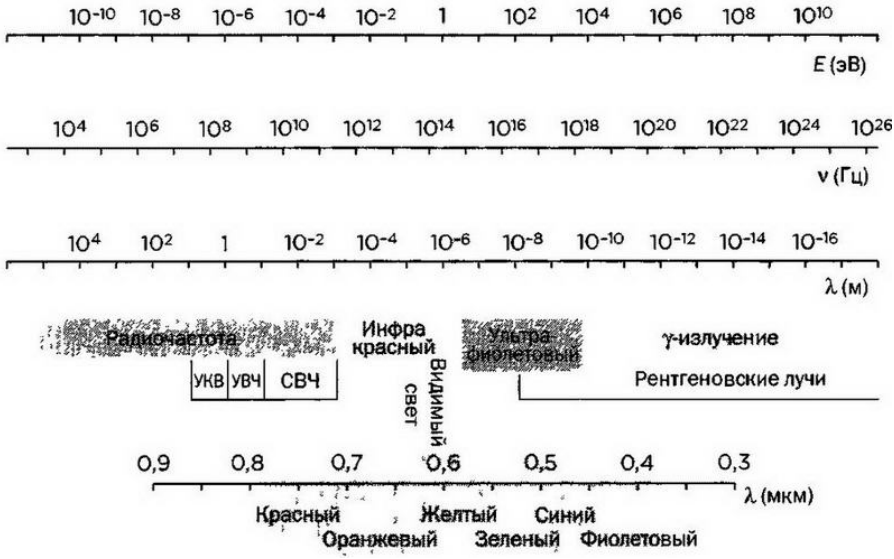
Начиная с 1 октября Томсон прочитал 20 лекций под общим названием «О молекулярной динамике и волновой теории света». Как это происходило и на его университетских занятиях, ученый не готовил речи детально, а развивал их в форме дискуссии с аудиторией, ставя перед ней различные проблемы. Лорд Рэлей, присутствовавший на некоторых беседах, восхищался Томсоном:

«какое это было поразительное выступление! Я часто выяснял, что утреннее занятие было основано на вопросах, возникших во время нашей с ним беседы за завтраком».

Как Томсон отметил в предисловии, он намеревался выявить ошибки волновой теории света, то есть теории, введенной Максвеллом за 20 лет до этого и все еще вызывавшей сомнения. Основное возражение Томсона было связано с самими абстрактными выводами Максвелла, который никогда не давал ответа на важные для этой теории вопросы: что такое свет? что такое электрические и магнитные поля? как они распространяются в вакууме? из чего состоит сам вакуум?

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ СПЕКТР

Электромагнитное излучение включает в себя целый набор волн, имеющих одно общее свойство: они распространяются в вакууме со скоростью с = = 299792, 458 км/с. Этот набор охватывает волны от радиочастот до гамма-излучения (характеристика некоторых ядерных процессов), включая инфракрасное излучение, видимый свет, ультрафиолетовое излучение и рентгеновские лучи. Для каждого вида излучения характерна собственная энергия Е, представленная в электрон-вольтах на верхней оси прилагаемой шкалы (1 эВ = 1, 60217646 х 10^{-19} Дж). Излучение энергии выше примерно 10^{2}эВ называется ионизирующим, оно используется, среди прочего, в радиотерапии и радиодиагностике. Как и любые другие волны, электромагнитное излучение характеризуется двумя свойствами, связанными с энергией. Одно из них — частота, υ = E/h, где h, значение которого равно 6, 62606896 х 10^{-34} Дж х с, — это постоянная Планка. Она дает представление о числе колебаний волны в секунду. Значения частоты в Гц показаны на центральной оси шкалы. Другое свойство — это длина волны, равная λ= hc/E, где с — скорость света в вакууме. Значения, которые она может принимать для электромагнитного излучения, приведены в метрах на нижней оси. Видимый свет занимает лишь небольшой фрагмент электромагнитного спектра — приблизительно от 0, 38 мкм, что соответствует фиолетовому, до 0, 78 мкм, что соответствует красному.



СПЕКТРАЛЬНЫЕ ЛИНИИ

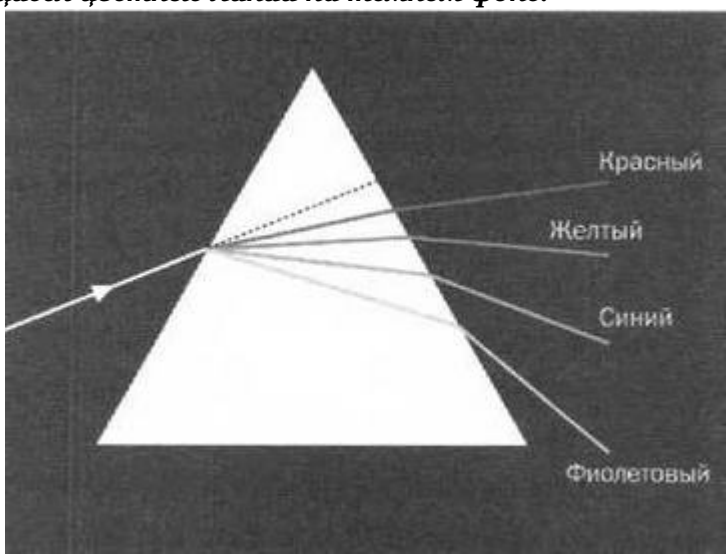
Оптический спектрометр, или спектроскоп, — это аппарат, позволяющий изучать электромагнитное излучение. В случае с видимым светом в спектрометрах используется оптическая призма или дифракционная решетка - два оптических элемента, которые позволяют разделить луч света, падающий на прибор, на волны различной длины. Как видно на рисунке, когда поток белого света падает на призму, каждый цвет преломляется под разным углом, так что на выходе из призмы волны оказываются разделенными. В 1814 году фон Фраунгофер изучал свет, излучаемый Солнцем, с помощью одного из этих устройств и обнаружил, что на фоне из соответствующих цветов появляется ряд черных линий. Затем он проанализировал свет, испускаемый пламенем, и обнаружил противоположное: на темном фоне появляются цветные линии.

Прогресс в исследованиях

В течение XIX века было накоплено много спектроскопической информации, которая не поддавалась объяснениям с помощью существующих моделей. В 1885 году

швейцарский математик и физик Иоганн Якоб Бальмер (1825-1898) нашел эмпирическую формулу, которая описывала длины волн видимого спектра водорода. В 1888 году шведский физик Йоханнес Роберт Ридберг (1854-1919) предложил более общее выражение, позволившее предсказать длины волн спектральных линий многих химических элементов как в видимой области, так и в инфракрасной и ультрафиолетовой. Окончательное объяснение пришло с появлением квантовой механики, согласно которой испускание и поглощение атомами и молекулами материи электромагнитного излучения вызвано тем, что некоторые их электроны переходят между квантовыми уровнями энергии.

Следовательно, фон Фраунгофер наблюдал два типа спектра: спектр поглощения и спектр испускания. В случае с солнечным спектром свет, образованный внутри Солнца, сначала пересекает внешние слои своей звезды, а затем земную атмосферу, пока не доходит до спектроскопа. Материя этих слоев поглощает излучение с энергией, характерной для ее атомов и молекул, вследствие этого в спектре появляются черные линии. В случае с пламенем сжигаемый материал только испускает электромагнитное излучение с конкретной энергией, соответствующей данному материалу, отсюда - светящиеся цветные линии на темном фоне.



Однако Томсон ценил результат теории Максвелла: скорости распространения электромагнитного излучения и света в вакууме совпадали и вычислялись на основе двух констант теории - диэлектрической проницаемости и магнитной проницаемости вакуума. Однако взаимодействие материи порождало новые

вопросы: почему существуют проводники, диэлектрики и изоляторы? почему материалы по-разному реагируют на магнитное поле? что происходит внутри материала в электромагнитном поле? Максвелл не ответил на эти вопросы, но объяснил многие экспериментальные результаты: он применил две константы, чтобы охарактеризовать каждый вид материала, и учел математические функции, описывающие поля и отношения между ними.

Теория Максвелла также никак не объясняла данные, накопленные спектроскопией. Еще в 1814 году немецкий оптик Йозеф фон Фраунгофер (1787-1826) сконструировал примитивный спектроскоп, позволивший ему выяснить, что в спектре солнечного излучения появляются темные линии с различной длиной волны. Механизм появления этих линий Максвеллу был неизвестен.

В своих лекциях Томсон не только касался этих глубоко дискуссионных проблем, но и часто показывал слушателям причудливые конструкции из различных элементов (стальных кабелей, маятников, деревянных решеток с гирями на конце, маховиков, брусков, пружин и так далее). Индивидуальное поведение каждого элемента было хорошо известно, но все вместе они порождали бесконечное число состояний движения, которые было довольно сложно рассчитать. Цель ученого была той же, что и всегда: найти механическую модель, которая иллюстрировала бы рассматриваемое физическое явление. Эти любопытные конструкции изображали структуру материи, молекулы и их взаимодействие со светом. Поскольку такие модели демонстрировали огромное разнообразие способов поведения, с их помощью можно было рассмотреть поведение любой анализируемой физической системы. И если в каком-нибудь случае это было невозможно сделать, в модель всего лишь следовало добавить дополнительные элементы, сделать «машину» более сложной, расширить ее возможности движения. Так Томсон демонстрировал присущее ему механистическое видение Вселенной.

ИСЧЕЗНОВЕНИЕ ЭФИРА

Второй темой Балтиморских лекций было распространение света в эфире. В предисловии к изданию 1904 года Томсон писал:

«Моя аудитория включала преподавателей физической науки, и

с самого начала я почувствовал, что наши встречи будут скорее конференциями между коллегами, где мы попытаемся продвинуть науку, чем просто чтением лекций. Я говорил абсолютно свободно и ничуть не боялся подорвать абсолютную веру моих коллег в эфир и его световые волны; я мог говорить с ними о несовершенстве нашей математики, о недостаточности нашего видения динамических свойств эфира и об обременяющей сложности поиска поля действия для эфира между атомами весомой материи. Мы все чувствовали, что трудностям нужно противостоять, а не избегать их; их сложность нужно учитывать, желая найти решение, если это возможно, но в любом случае можно выразить определенную уверенность в том, что для каждой трудности есть объяснение, даже если мы сами не можем найти его».

Как уже было известно к тому времени, звуковые волны — это механические волны, для передачи которых требуется упругая материальная среда. Когда мы разговариваем, эта среда - воздух; когда мы подносим ухо к железнодорожному рельсу, чтобы узнать, едет ли по путям поезд, эта среда - металл, из которого сделан рельс. Свет как электромагнитное излучение не нуждается в материальной среде для распространения. Однако эта мысль была невозможной в XVII-XIX веках, поскольку большая часть теорий пользовалась для объяснения различных физических явлений механическими моделями. В этом контексте родился так называемый световой эфир, то есть материальная среда, позволяющая передачу света. В 1818 году эта концепция была предложена Френелем, который, кроме того, определил свойство света как поперечной волны. Известно, что в 1678 году голландский математик, физик и астроном Христиан Гюйгенс (1629-1695) говорил об эфире как о среде, необходимой для передачи света, а в 1709 году Исаак Ньютон рассуждал об эфирной среде, колебания которой способствуют отражению, преломлению и дифракции света. Однако именно Френель начал эксперименты, имевшие целью наблюдать эффекты, которые могут быть объяснены существованием светового эфира.

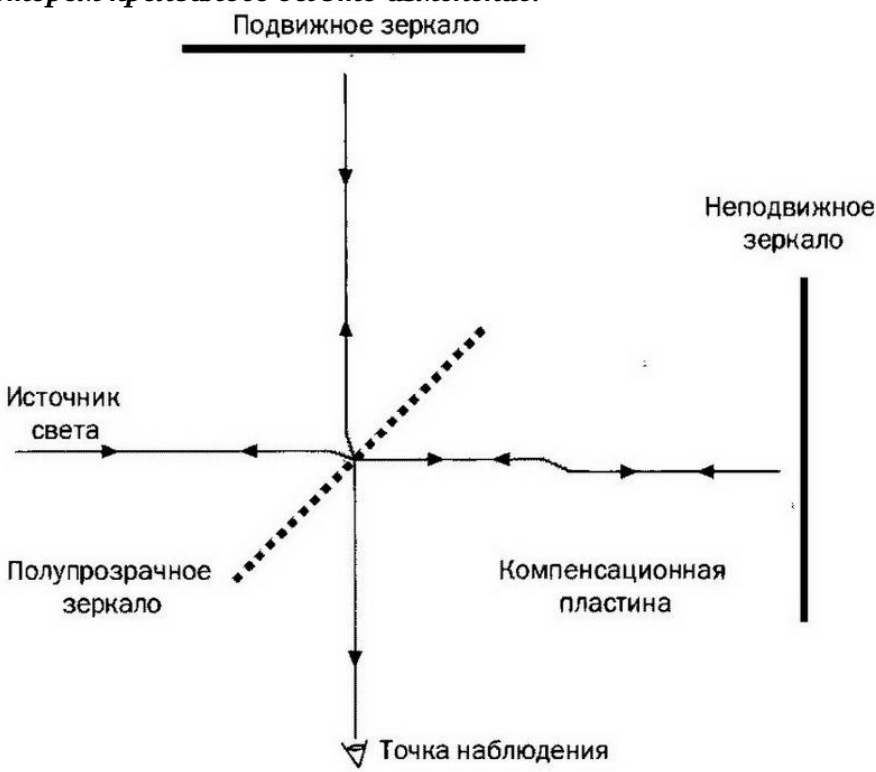
Речь шла о довольно волшебной среде со сложным поведением. С одной стороны, она должна иметь необходимые жесткость и упругость, чтобы позволить распространяться электромагнитным колебаниям. С другой стороны, эта среда должна быть достаточно пластичной, чтобы объекты такой величины, как планеты, свободно проходили через нее. Во время своих лекций Томсон проводил аналогии с глицерином, воском, желе и другими веществами, хотя признавал, что так и не нашел материала с подходящими свойствами. Ему были известны

ограничения такого подхода к проблеме. За некоторое время до этого ученый указывал:

«Думаю, мы все должны чувствовать, что тройной союз между эфиром, электричеством и весомой материей - это результат в большей степени отсутствия у нас знаний, [...] чем действительность».

ЭКСПЕРИМЕНТЫ МАЙКЕЛЬСОНА И МОРЛИ

В случае существования эфира Земля в своем движении должна ощущать эфирный ветер, проявляющийся в изменении скорости света в зависимости оттого, испускался он в направлении движения Земли или нет. В 1881 году польско-американский физик Альберт Абрахам Майкельсон приспособил интерферометр для оптического эксперимента, в котором проявилось бы это изменение.



Как видно на рисунке, источник света испускает луч,

который после столкновения с полупрозрачным зеркалом разделяется на два: передаваемый дальше и отраженный. Последний падает на подвижное зеркало и после отражения в нем возвращается к полупрозрачному зеркалу и вновь делится на передаваемый, который продолжает свое движение до точки наблюдения, и отраженный, который возвращается к источнику. Переданный луч отражается в другом зеркале, затем в полупрозрачном и доходит до точки наблюдения. Благодаря компенсационной пластине из того же материала, что и полупрозрачное зеркало, а также использованию подвижного зеркала, обеспечивается равенство расстояний, пройденных обоими пучками света. Когда два луча соединяются в точке наблюдения, они вызывают интерференцию, то есть мы наблюдаем ряд светлых и темных полосок, характеристики которых связаны с расстоянием, пройденным обоими лучами, и скоростью света. Майкельсон направил один луч в направлении движения Земли, а другой - перпендикулярно ему. Присутствие эфира вызвало бы изменение скорости обоих лучей с последующим изменением в полосах интерференции, но результаты опыта не показали ничего подобного: «Следствие гипотезы о стационарном эфире, таким образом, оказалось неверным, и мы должны сделать вывод о том, что гипотеза ошибочна».

В поисках большей точности

В 1887 году Майкельсон в сотрудничестве с американским ученым Эдвардом Уильямсом Морли поставил ряд экспериментов с модифицированным интерферометром, в котором расстояние, пройденное обоими лучами, с помощью нескольких зеркал увеличилось примерно до 11 м. Это повысило точность эксперимента, но результаты снова были отрицательными. С тех пор было поставлено множество подобных экспериментов, некоторые из них — с помощью высокоточных приборов. В 2009 году Свен Герман и его коллеги установили, что возможная разница в скорости света в зависимости от направления распространения, вызванного движением Земли, меньше, чем 1 часть от 10^{17}.

Томсон попытался решить проблему, изменив теорию эфира: он перешел от статической структуры, которая рассматривалась до сих пор, к динамической, предусматривавшей

распространение электромагнитного поля с правильными свойствами. Однако это изменение не принесло плодов, поскольку в новой теории был нужен всего 21 независимый коэффициент, и для проведения экспериментальных наблюдений их поведение должно было быть согласованным. В Балтиморских лекциях Томсон настаивал на том, что следует с осторожностью подходить к гипотезам, в которых световой эфир рассматривается как идеальный способ найти ответ на накопившиеся вопросы. При этом ученый считал, что действительно существует «реальная материя между нами и самыми дальними звездами и свет состоит в реальных движениях этой материи».

Вы можете представить себе частицы одной вещи — вещи, движение которой представляет собой свет. Эту вещь мы называем световым эфиром. Это единственное вещество, которому мы доверяем, и если мы в чем-то можем быть уверены, так это в его реальности и вещественности.

Лекция Томсона в Филадельфии

Однако конец дискуссии приближался. Польско-американский физик Альберт Абрахам Майкельсон (1852-1931) и американский химик и физик Эдвард Уильямс Морли (1838-1923) уже начали ставить эксперименты, означавшие начало конца эфира, который наступил, когда Альберт Эйнштейн опубликовал в 1905 году свою специальную теорию относительности.

И все же, несмотря ни на что, Томсон упорно продолжал поиск решения, которое включало бы эфир. Незадолго до смерти он написал:

«Мне кажется вполне вероятным, что на самом деле у эфира нет никакой структуры. […] Нет никакой сложности в этом понятии о твердом упругом теле, полностью однородном, которое занимает все пространство. […] О световом эфире часто говорят как о флюиде. Но уже более 30 лет, как я оставил, основываясь на доводах, которые до сих пор кажутся мне убедительными, идею о том, что эфир - это жидкость, снабженная чем-то похожим на упругость, характерную для движения. […] В этом месте мы сталкиваемся с вопросом: является ли эфир несжимаемым? Должно быть, что-то нас вынуждает ответить: да, он несжимаемый, он подвержен законам всемирного тяготения. Но когда сегодня мы пытаемся понять движение, производимое эфиром в весомых и электрических атомах, которые движутся внутри него, мы можем только убедиться в том, что эфир сжимаемый. И если поверить в этот последний факт, то мы

должны принять, что на эфир не воздействует гравитация».

Итак, поиск решения наталкивался на сложности, и Томсону пришлось капитулировать. В этой дискуссии привлекает внимание различие между его мировоззрением и мировоззрением Максвелла. Последний также для наглядного представления эффектов электромагнитного поля пользовался более или менее сложными моделями, но он сразу же осознал ограничения этого подхода в части понимания взаимосвязи между электрическими и магнитными явлениями. А Томсон так и держался за устаревший механизм - возможно, из-за того, что благодаря ему он совершил все свои открытия?

МОДЕЛИ АТОМА И РАДИОАКТИВНОСТЬ

Интерес Томсона к атомам и их структуре был очень давним. Еще в 1867 году в лекции «О вихревых атомах», прочитанной в Эдинбургском королевском обществе, он говорил:

«После того как я получил новость об удивительном открытии фон Гельмгольцем закона движения вихрей в идеальной жидкости (то есть во флюиде, полностью свободном от вязкости, или трения флюида), автор утверждает: это открытие неизбежно предполагает, что кольца фон Гельмгольца - это единственные настоящие атомы».

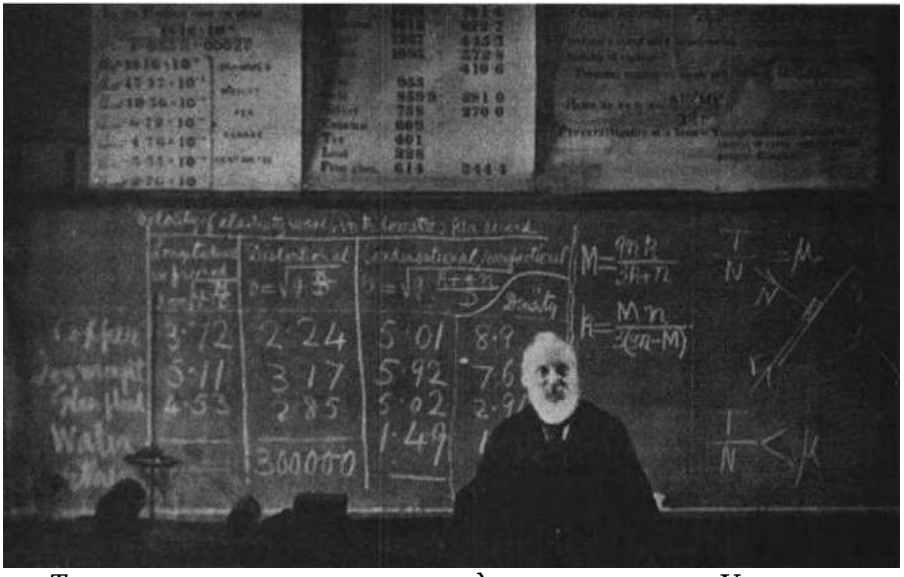
В то время наука постепенно принимала кинетическую теорию газов, разработанную Клаузиусом, Максвеллом и австрийским физиком Людвигом Больцманом (1844-1906), но эта теория не давала полного объяснения всем известным экспериментальным результатам. Если допустить, что газ состоит из атомов, которые движутся на некоторой скорости и сталкиваются друг с другом, этого достаточно, чтобы объяснить свойства газов. Но с практической точки зрения — хотя взаимодействие между атомами может быть описано в терминах ньютоновской механики — решение конкретных задач было невозможным из-за огромного числа атомов даже в самых небольших объемах газа. Статистическая формулировка позволила обойти этот подводный камень, однако она не объясняла другие атомные явления, такие как поглощение и испускание света на определенной длине волны.

Томсону подобное ограничение совсем не нравилось, поэтому

он добавил в теорию свои вихревые атомы и попытался понять, какими должны быть их свойства и механизмы взаимодействия между собой и с электромагнитными полями, включая свет. У него в руках была новая кинетическая теория газов. Ученый наглядно представил свои атомы как тороидальные структуры, которые не могли ни появляться, ни исчезать, они сталкивались друг с другом и могли вибрировать с определенной частотой, что позволяло объяснить характерные эффекты, наблюдаемые в спектроскопии. Следовательно, атомы и электромагнитные поля могли быть объяснены в чисто динамических терминах, но с аналитическими сложностями, «значительными, но далекими от непреодолимых с учетом современного состояния математической науки». Привлекательность этой точки зрения для Томсона была несомненной: термодинамика, электромагнетизм и свойства материи — все это опирается на механику, науку обо всем. Но через некоторое время ему пришлось отказаться от своей модели, поскольку он выяснил, что, в противоположность его изначальным предположениям, вихревые атомы нестабильны.

Томсон с ассистентом в саду его дома в Нетерхолле во время одного из экспериментов.

Вторая жена ученого, Фрэнсис Анна Блэнди.



Томсон во время своего последнего занятия в Университете

Глазго в 1899 году.

Еще один повод для беспокойства добавила радиоактивность: сначала, в 1895 году, открытие икс-лучей немецким физиком Вильгельмом Конрадом Рентгеном (1845-1923), а затем, в 1897-м, открытие электрона Джозефом Джоном Томсоном (1856-1940). Снова пытаясь придерживаться динамической структуры эфира, герой нашей книги посчитал, что икс-лучи можно объяснить, если предположить продольные колебания самой среды, а это противоречило теории Максвелла (вспомним, что электромагнитные волны поперечные). Но иллюзия длилась недолго - столько, сколько понадобилось, чтобы понять: странное рентгеновское излучение - это электромагнитное излучение большей энергии, чем видимый свет и ультрафиолет.

Томсон вернулся к характерному для себя способу мышления. В 1902 году он представил работу, в которой возродил старую теорию немецкого ученого Франца Ульриха Теодора Эпинуса (1724-1802): в 1759 году последний утверждал, что электричество - настолько уникальный флюид, что его избыток приводит к положительному заряду, а недостаток - к отрицательному. Предположение Томсона было следующим:

«Флюид Эпинуса состоит из чрезвычайно маленьких и похожих друг на друга атомов, которые я называю электрионами, они намного меньше, чем атомы весомой материи, и свободно проникают в пространство, занятое этими атомами большего размера, и так же свободно - в пространство, не занятое ими. Как и в теории Эпинуса, у нас должно быть взаимное отталкивание между электрионами, взаимное отталкивание между атомами независимо от электрионов, а также взаимное притяжение между электрионами и атомами без электрионов».

Число электрионов, которые имеются у обычного атома, наряду с законами работы сил, задействованных в потере или получении атомами электрионов, объясняло разнообразие химических элементов с различными свойствами, представленное в периодической таблице элементов, которая была введена в 1869 году Дмитрием Менделеевым (1834-1907) и немецким химиком Юлиусом Лотаром фон Мейером (1830-1895) год спустя. Эта теория, построенная на основе простых компонентов, была слишком сложной.

Через некоторое время после открытия электрона Джозеф Джон Томсон предложил модель атома, основанную на

сферической структуре с положительным зарядом, в которую были вставлены в необходимом положении для поддержания равновесия системы электроны: их количество было таким, чтобы уравновешивать заряд атома. Лорд Кельвин изменил эту модель, предположив, что частицы электричества движутся по концентрическим сферам. В 1903 году японский физик Хантаро Нагаока (1865-1950) предложил атом, образованный большой сферой с положительным зарядом, вокруг которой по круговым траекториям вращаются электроны. В 1911 году эксперименты новозеландского физика Эрнеста Резерфорда (1871-1937) показали, что атомная геометрия Нагаоки верна, но пришлось подождать датского физика Нильса Бора (18851962), который в 1911 году своей доквантовой моделью атома обозначил начало пути к окончательному решению, которое вылилось в развитие квантовой механики.

Несмотря на весь скептицизм Томсона по отношению к новой физике, нет сомнений в том, что ученый до конца своей жизни вел борьбу за понимание механизмов физических явлений, как бы они ни выглядели. Исследователь говорил:

«Так же как великие достижения в математике были осуществлены на основе желания найти решение задач, которые имели очень практический характер для математической науки, в физической науке многие великие достижения, которые были сделаны с начала мира до настоящего времени, были вызваны серьезным желанием изменить знание о свойствах материи ради какой-то полезной для человечества цели».

БАРОН КЕЛЬВИН ИЗ ЛАРГСА

В 1892 году королева Виктория причислила Уильяма к дворянству — он стал первым ученым в Великобритании, который получил дворянский титул. В этот день премьер-министр превозносил возможности, которые откроет присутствие Томсона в палате лордов, поскольку большинство ее членов были далеки от науки. Уильям принял титул барона Кельвина из Ларгса, взяв название реки Кельвин, протекавшей недалеко от его университетской лаборатории, и города Ларгса, в пригороде которого находилась его резиденция Нетерхолл. После церемонии посвящения в дворянство, произошедшей 25 февраля, Томсон занял свое место в палате лордов.

Исследовательская деятельность лорда Кельвина после

начала его парламентской карьеры не угасла. В 1896 году был отпразднован его юбилей на посту профессора Университета Глазго. В связи с этим королева Виктория пожаловала ученому Большой Крест Королевского Викторианского ордена; 11 июля 1899 года он представил совету университета свое заявление об отставке. Томсону недавно исполнилось 75 лет, со времени его назначения в 1846 году прошло уже 53 года. А 30 сентября было его последним днем в качестве действующего преподавателя.

Лорд Кельвин скончался 17 декабря 1907 года в Нетерхолле, рядом с городом Ларгс (Шотландия). Похороны состоялись 23 декабря в Лондоне. Многочисленные представители академического, научного и политического мира шли в похоронной процессии рядом с родственниками и друзьями Томсона. Останки ученого покоятся в Вестминстерском аббатстве, его могила находится рядом с могилой великого Исаака Ньютона.

В течение жизни Томсон написал огромное количество научных статей, изобрел и запатентовал множество измерительных приборов, предлагал неожиданные решения практических проблем, получал многочисленные почести и был первым в различных областях физики. Однако, как утверждал Джозеф Джон Томсон, сам лорд Кельвин считал самой важной своей работой исследования, связанные с возрастом Земли и Солнца.

ГЛАВА 5
Возраст Земли

В 1864 году Томсон опубликовал статью под названием «О вековом охлаждении Земли», которую за два года до этого представил в Эдинбургском королевском обществе. В этой работе ученый, опираясь на законы термодинамики, привел свои расчеты возраста Земли. Хотя результат, предложенный Томсоном, оказался ошибочным, его последующие дискуссии с другими исследователями приобрели большую известность. Эта полемика велась до самой смерти лорда Кельвина.

«Земля была создана между вечером субботы 22 октября и рассветом воскресенья 23 октября 4004 года до н.э. юлианского календаря» - эта точная оценка может считаться предварительным примером расчетов и экспериментов, достойных упоминания. Однако ее автор, епископ Джеймс Ашшер, основывался на Библии и числе поколений, которое, как он высчитал, прошло от Адама и Евы до наших дней. Богослов привел эти расчеты в 1650 году в своей книге Annales veteris testamenti, a prima mundi origine deducti («Анналы мира»). Он не первый делал оценки этого важного события, обладающие такой же точностью. Так, бенедиктинский монах Беда Достопочтенный в VIII веке указал, что создание Земли произошло в 3952 году до н.э., французский эрудит Жозеф Жюст Скалигер уверял в XVI веке, что это случилось в 3949 году до н.э., а английский священнослужитель и заместитель ректора Кембриджского университета Джон Лайтфут выступал в XVII веке за 3929 год до н.э.

Определение возраста Земли очень интересовало церковников, которые использовали эти оценки для придания Библии большей весомости, но проблема не вызывала интереса ученых. В частности, вычислением возраста Земли не занимались греки и арабы, имевшие многочисленные достижения в других научных областях. Только к середине XVIII века натуралисты разработали и применили некоторые методики, связывавшие ископаемые слои. Английский геолог Уильям Смит в 1790 году установил, что два слоя, содержащие ископаемые с похожими характеристиками, должны относиться к одному времени, даже если они находятся в очень удаленных друг от друга географических и/или геологических областях. А на основе числа слоев и оценок времени между ними можно установить возраст Земли. Михаил Ломоносов в середине XVIII века предположил,

что Земле может быть несколько сотен тысяч лет.

Б свою очередь, Жорж-Луи Леклерк, граф де Бюффон, французский математик, биолог и естествоиспытатель, поставил в 1779 году эксперименты, в которых измерил время охлаждения железных шаров, состав которых предположительно подобен составу Земли, и, экстраполировав результаты, установил значение от 50 до 75 тысяч лет. Это утверждение стоило ему нескольких столкновений с Церковью и означало, что Земля древнее всех ископаемых остатков, известных на то время. Б 1860 году эти ископаемые привели английского геолога Джона Филипса к оценке возраста Земли примерно в 100 миллионов лет, что было представлено как верное значение прусским философом Иммануилом Кантом в его «Всеобщей естественной истории и теории неба», опубликованной в 1755 году. Но, без сомнений, дальше всех пошел шотландский натуралист Джеймс Геттон; в 1788 году он утверждал: не существует следов того, что у Земли когда-либо было начало, а также признаков того, что у нее когда-нибудь будет конец. Вплоть до XIX века эту идею принимали большинство геологов.

ТОМСОН СДЕЛАЛ СВОИ РАСЧЕТЫ …

Английский натуралист Чарлз Дарвин в 1859 году опубликовал свою главную работу — «Происхождение видов путем естественного отбора, или сохранение благоприятных рас в борьбе за жизнь». Влияние этой работы на науку о жизни было, как хорошо известно, более чем примечательным. Основываясь скорее на качественных аргументах, связанных со скоростью протекания эволюционных биологических процессов, Дарвин склонялся к мысли о том, что Земля существует практически с неопределенного времени.

Друг Дарвина, британский адвокат и геолог Чарлз Лайель, один из основателей современной геологии, высказал в своих «Основных началах геологии», опубликованных в 1830 году, идею о том, что Земля имеет возраст порядка миллиардов лет или больше. Он опирался на то, что для завершения геологических процессов необходимы чрезвычайно большие сроки. Согласно Лайелю и его коллегам, силы, задействованные на геологическом уровне, в течение бессчетного количества лет оставались неизменными.

Но эти качественные рассуждения не удовлетворяли Томсона, который изучал проблему, стремясь применить к физической

системе, являющейся Землей, законы термодинамики, в которых он прекрасно разбирался. Отправная точка звучала просто: в соответствии с этими законами энергия, имеющаяся в распоряжении для осуществления всей геологической деятельности, изначально была конечной и с течением времени она должна постепенно уменьшаться. Основой расчетов Томсона был закон сохранения энергии. Его изначальная гипотеза была очень ясной: уровень тепла, потерянного планетой через ее поверхность, устанавливает определенные ограничения на отдаленность от нас момента, когда была образована Земля.

Это важное предположение, наряду с научным авторитетом, которым в то время уже обладал Томсон, позволило ему подойти к проблеме с чрезвычайным высокомерием, безжалостно круша геологов и биологов своего времени. В качестве примера достаточно начала его работы «О вековом охлаждении Земли»:

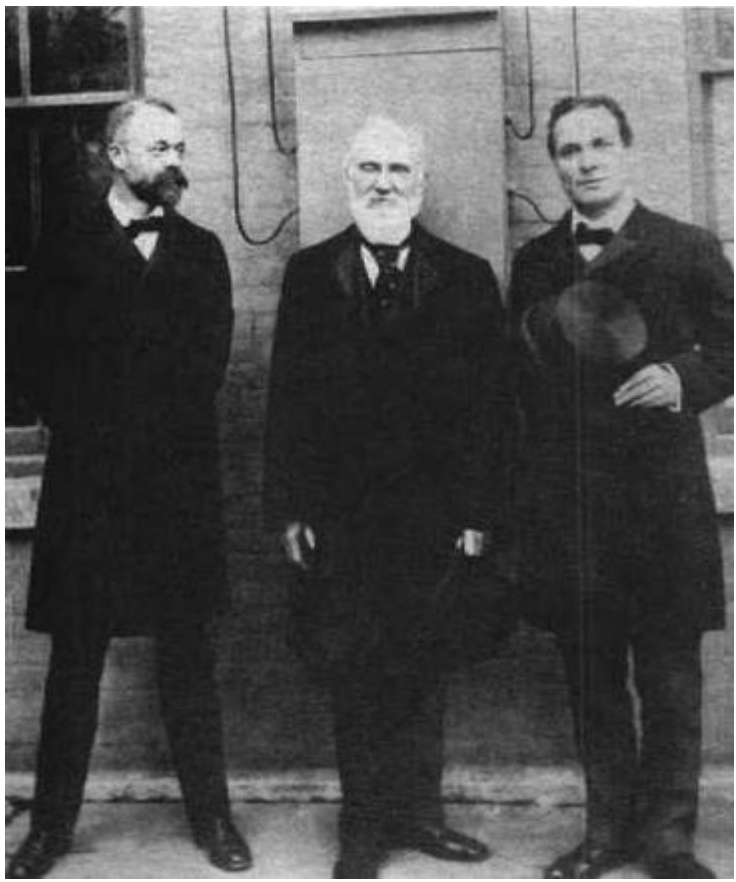
«В течение 18 лет меня беспокоила мысль о том, что основные принципы термодинамики игнорируются этими геологами, которым они упорно противопоставляют всяческие безумные гипотезы. Они утверждают не только то, что сейчас перед нами на Земле происходят примеры всевозможных действий, из-за которых ее оболочка менялась на протяжении геологической истории, но и что эти действия в целом никогда не были более интенсивными, чем сейчас».

Другой пример едкой дискуссии мы видим в разговоре Томсона с шотландским геологом Эндрю Рамзаем в 1867 году. На его утверждение - «Я не могу оценить и понять причин, по которым вы, физики, ограничиваете геологическое время, так как вы не способны понять геологических причин наших ограничительных оценок» — Томсон ответил: «Ты сможешь понять рассуждение физиков, если начнешь над этим думать».

Согласно модели Томсона, Земля образовалась в результате застывания некоторого количества расплавленного материала. После застывания у системы должна была быть однородная начальная температура, и она должна была находиться в среде, поддерживавшей на поверхности Земли постоянную температуру. Томсон предположил, что дополнительные источники тепла отсутствовали, и рассмотрел систему, используя уравнение распространения тепла в твердых телах, которое за несколько лет до этого разработал Фурье и с которым Томсон был хорошо знаком с молодых лет. При таких обстоятельствах температура в любой точке земного объема зависела только от расстояния от этой точки до поверхности и от времени, пройденного от

начального состояния. Решая уравнение Фурье, ученый нашел отношение между временем, пройденным от начала, начальной температурой системы, температурным градиентом на поверхности и константой, которая называется термодиффузией. Этих величин было достаточно, чтобы оценить возраст Земли.

На тот момент Томсон не располагал достаточным количеством экспериментальных данных для проведения необходимых расчетов и определения возраста Земли, так что он начал измерять температурный градиент на земной поверхности, проводимость различных пород и так далее. Через несколько лет, когда ученый представил Эдинбургскому королевскому обществу свою работу «О вековом охлаждении Земли», у него уже была информация, необходимая для таких расчетов. Он рассматривал средний температурный градиент земной поверхности около 35 ˚с/км; для термодиффузии он предложил значение порядка 10^{-6} $м^2$ $с^{-1}$ и оценил начальную температуру Земли примерно в 4000 ˚С, что было равно температуре плавления некоторых пород. При таких значениях было установлено, что возраст Земли равен 130 миллионам лет.



Томсон (в центре) с физиком Николсом и дипломатом Шурманом в Корнелльском университете, США.

Томсон с супругой в день обретения ученым дворянского титула. Фотография 1892 года.

Томсон и его супруга на железнодорожном заводе.

РАСЧЕТ ТОМСОНА

Условия, взятые Томсоном за основу для осуществления расчетов о возрасте Земли, позволили ему рассматривать очень простую модель, схематически представленную на рисунке. Земля после образования имела однородную температуру T_0 и взаимодействовала со средой с постоянной температурой $T_{среда}$. Первым шагом был расчет температуры $\tau(x, t)$ в любой точке земного объема, расположенной на расстоянии x от поверхности по истечении времени t от начального момента. Для этого Томсону нужно было только решить уравнение теплопроводности Фурье

$$\partial\tau(x,t)/\partial t = \kappa \cdot \partial^2\tau(x,t)/\partial x^2,$$

где κ ***— термодиффузия. Томсон предложил в качестве решения этого уравнения функцию***

$$\tau(x,t) = v_0 + \frac{2V}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}} dz\, e^{-z^2},$$

Здесь $\nu_0 = (T_0 + T_{среда})/2$, а $V = (T_0 - T_{среда})/2$. Простой расчет позволяет проверить, что это решение действительно удовлетворяет дифференциальному уравнению. Кроме того, видно, что при начальном состоянии, $t = 0$, все внутренние точки земного объема (то есть при $x > 0$, справа от земной поверхности на рисунке) имеют температуру T_0, а все внешние относительно Земли точки (то есть при $x < 0$, слева от земной поверхности на рисунке) имеют температуру $T_{среда}$. Таким образом, можно вычислить температурный градиент, $\gamma(x, t)$, в любой точке, то есть коэффициент изменения температуры в этой точке на единицу длины, перпендикулярной плоскости поверхности, который будет равен

$$\gamma(x,t) \equiv \frac{d\tau(x,t)}{dx} = \frac{V}{\sqrt{\pi\kappa t}} e^{-\frac{x^2}{4\kappa t}},$$

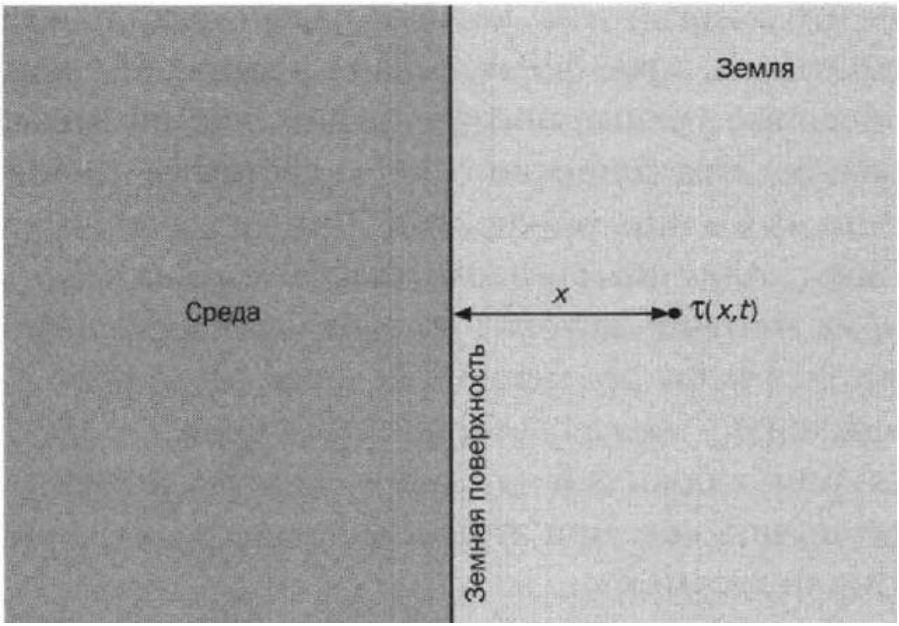
а на земной поверхности, то есть для $x = 0$, он равен

$\gamma(0,t) = V/\sqrt{(\pi\kappa t)}$

Если выделить t в этом уравнении и учитывать, что поскольку T_0 (порядка нескольких тысяч ˚C) намного больше $T_{среда}$ (порядка нескольких десятков ˚C), $V \sim T_0$, то получается

$$t = \frac{1}{\pi\kappa}\left[\frac{V}{\gamma(0,t)}\right]^2 = \frac{1}{\pi\kappa}\left[\frac{T_0}{\gamma(0,t)}\right]^2.$$

Теперь достаточно подставить значения, указанные в тексте ($\kappa = 10^{-6}$ м^2 с$^{-1}$, $T_0 = 4000$ ˚C и $\gamma(0, t) = 35$ ˚C/км), чтобы получить для t 130 миллионов лет, предложенные Томсоном.



На самом деле Томсон определил диапазон от нескольких десятков до нескольких сотен миллионов лет, поскольку учел возможные погрешности экспериментальных данных, использованных для расчета. Через некоторое время он пересмотрел свои вычисления и свел оценку к 20 миллионам лет.

...НО ОШИБСЯ

Томсон доверял своей оценке возраста Земли в свете другого результата, который он сам получил немного ранее. Это очень важно для науки, поскольку если один и тот же результат можно найти двумя различными способами, не связанными между собой, достоверность этого результата растет. Воспроизводимость научных результатов - один из столпов, на которых основывается наука, и обязательный элемент ее развития.

Томсон изучал происхождение тепла, испускаемого Солнцем, и предположил, что время, в течение которого оно освещает Землю, и возраст нашей планеты должны быть одного и того же порядка. В соответствии с данными, доступными к 1850 году, было возможно вычислить (по крайней мере приблизительно) норму выработки тепла Солнцем. Но задача состояла в том, чтобы выяснить, обладает ли Солнце невозобновляемым источником тепла, ресурс которого истощается с момента образования

светила, и, кроме того, может ли какой-то внешний процесс увеличивать этот запас тепла так, чтобы тепловая радиация могла поддерживаться в течение большего или меньшего времени.

За несколько лет до этого, в 1843 году, Джоуль экспериментально установил механический эквивалент тепла, доказав, что энергия тела, которое падает и сталкивается с другим, может быть трансформирована в тепло. На основе этой идеи некоторые ученые предположили, что возможный механизм производства солнечного тепла состоит в постоянном воздействии на Солнце метеоритов. Томсон вычислил, что в соответствии с солнечным теплом, измеряемым на поверхности Земли, норма материи, которая должна была действовать на Солнце, составляла бы примерно 5 кг в час (примерно 45 тонн в год), а поскольку масса светила - примерно 2×10^{30} кг, этот поток материи, влияющей на Солнце, мог бы сохраняться в течение миллионов лет. При этом изменение размера звезды было бы с Земли незаметно.

Следует отметить, что оценка Томсона о норме материи, воздействующей на Солнце, недостаточно учитывала реальное значение произведенной им энергии, поскольку, с одной стороны, значительная часть солнечного тепла отражается, прежде чем достигнуть земной поверхности, а с другой стороны, большая часть солнечной энергии испускается в виде света, ультрафиолетового излучения, радиоволн и так далее.

ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ

В научной методологии «воспроизводимость» — это свойство повторяемости, то есть то, что может быть воспроизведено с теми же результатами. Чтобы проиллюстрировать важность этой характеристики в науке, можно упомянуть два показательных примера. Ускоритель БАК (Большой адронный коллайдер) был построен для дополнения так называемой стандартной модели, открытия бозона Хиггса и изучения его свойств. Через некоторое время после его запуска, 4 июля 2012 года, было объявлено, что получены признаки существования этой частицы, обладающей характеристиками, которые предположил британский физик Питер Хиггс в 1964 году. БАК — это ускоритель огромных размеров (он занимает круглый туннель радиусом 27 км) и стоимости (несколько миллиардов евро), что несколько снижает воспроизводимость экспериментов. Чтобы

преодолеть это ограничение, для сопоставления результатов были разработаны два детектора, ATLAS и CMS.

Установки БАК в Европейской организации по ядерным исследованиям в Женеве (Швейцария).

Холодный ядерный синтез

В 1989 году два авторитетных электрохимика, американец Стэнли Понс и британец Мартин Флейшман, сообщили, что во время простого электролиза тяжелой водой с палладиевыми электродами был получен избыток тепла, который можно объяснить только в рамках реакций ядерного синтеза, поскольку ученые наблюдали появление нейтронов и трития (радиоактивного изотопа водорода, имеющего в своем ядре протон и два нейтрона) — типичных продуктов для процессов данного типа. Холодный ядерный синтез — как был назван наблюдаемый процесс — в одночасье породил надежды на новый, практически неисчерпаемый источник дешевой энергии. Понс и Флейшман сообщили эту новость напрямую СМИ, не пропустив ее через фильтр, необходимый, когда речь идет о публикации любого научного открытия. Многие лаборатории мира попытались воспроизвести результаты, полученные этими учеными, и хотя вначале некоторые опыты показались положительными, через несколько месяцев было доказано, что эксперимент невоспроизводим, и его результаты были признаны недействительными.

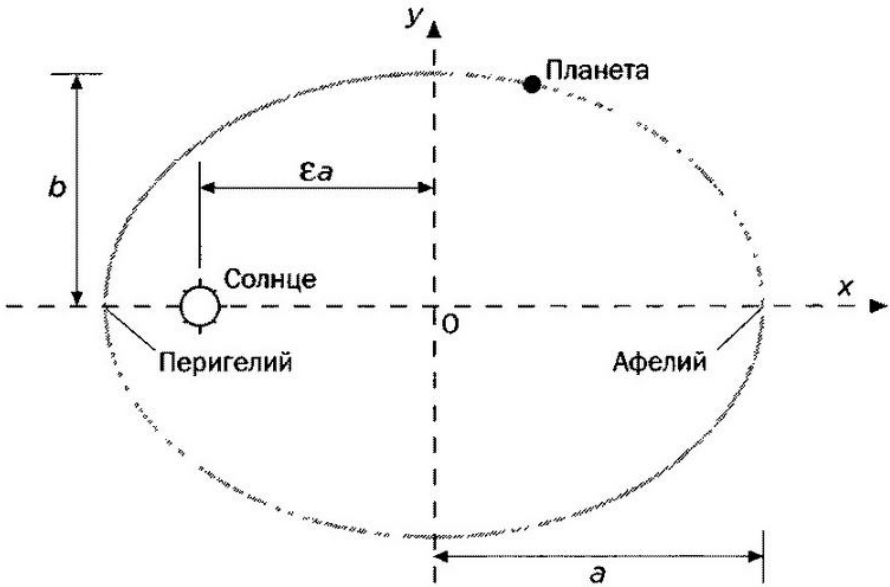
Возмущения планетных орбит

Самая простая модель, необходимая для изучения орбиты планеты, вращающейся вокруг Солнца, - это предположение о том, что существует только Солнце и рассматриваемая планета. В этом случае планета следует вокруг Солнца по орбите, характеристики которой были впервые описаны немецким астрономом и математиком Иоганном Кеплером (в 1609 и 1618 годах), а затем в 1685 году выведены Ньютоном на основе его законов о движении и закона всемирного тяготения. Траектории - это эллипсы, большая (а) и меньшая (Ь) оси которых зависят от массы Солнца и планеты. Солнце находится в одном из двух фокусов эллипса, расстояние между которыми равно

εa = √(a2 - b2)

от центра О, где ε - эксцентриситет. Траектории планет имеют не очень большой эксцентриситет: для Земли ε = 0, 017, в то время как у Меркурия, с его наибольшим эксцентриситетом, ε = 0, 21. Однако на орбиту каждой планеты влияет присутствие остальных планет, поскольку все они взаимно притягиваются. Именно это возмущение позволило Леверье предположить существование неизвестной планеты: для объяснения отклонений, наблюдаемых в орбите Урана, в 1846 году он сделал вывод о существовании Нептуна. Леверье сообщил о своем предположении астроному Иоганну Гопфриду Галле, который открыл планету менее чем в одном градусе от вычисленного положения. Леверье также заметил еще одну аномалию - в орбите Меркурия: происходило незначительное смещение перигелия его орбиты (на несколько десятков угловых секунд на век), что можно было объяснить с помощью законов классической механики. Воодушевленный успехом с Нептуном, Леверье предположил в 1859 году существование кольца материальных частиц между Меркурием и Солнцем — новой планеты, которую он назвал Вулканом. Хотя многие астрономы уверяли, что различили новую планету, другие наблюдения, произведенные во время солнечных затмений, дали отрицательные результаты, и после смерти Леверье в 1877 году существование Вулкана было отвергнуто. С объяснением упомянутой аномалии Меркурия пришлось ждать до 1915 года. Эйнштейн осуществил расчет в рамках своей недавно предложенной общей теории

относительности. Таким образом, смещение перигелия Меркурия оказалось одним из первых подтверждений новой теории.



Оправданием Томсону может быть то, что в его время об этом еще не было известно.

Хотя сам Томсон был убежден в полученных результатах, он практически сразу же заметил некоторые проблемы, связанные с влиянием, которое такое количество материи, скопившейся на Солнце, могло оказывать на орбиты планет. Так, он заметил, что если бы метеориты падали на Солнце из более далеких точек, чем Земля, гравитационное взаимодействие между нашей планетой и Солнцем постепенно изменилось бы, и только за последние 2000 лет период вращения Земли вокруг Солнца увеличился бы, что привело бы к сокращению года на полтора месяца — количество времени, которым нельзя пренебречь.

Друг Томсона Стокс указал на то, что если бы метеориты падали на Солнце из точек, более близких к нему, чем Земля (что разрешало предыдущую трудность), но дальше, чем Меркурий или Венера, орбиты этих планет также изменились бы.

Когда в 1859 году французский математик Урбен Жан Жозеф Леверье открыл смещение перигелия орбиты Меркурия, он смог установить точные границы этого изменения, косвенно вынудив метеориты, ответственные за производство солнечного тепла, располагаться с самого образования звезды между нею и Меркурием, что невозможно, поскольку их никто никогда не наблюдал.

После того как была отвергнута метеоритная гипотеза, пришлось подождать некоторое время, пока в 1856 году фон Гельмгольц не предположил, что энергия, излучаемая Солнцем, и, следовательно, его светимость могут происходить из трансформации его гравитационной энергии. В работе «0 возрасте солнечного теша», опубликованной в 1862 году, Томсону удалось оценить возраст звезды на основе гипотезы фон Гельмгольца. Так, он установил, что время, в течение которого Солнце могло греть и освещать Землю, составляет от 10 до 20 миллионов лет, при этом маловероятно, что это происходит в течение 100 миллионов лет, и ни в коем случае - в течение 500 миллионов лет или больше. Действительно, если рассмотреть имеющиеся сегодня знания о величинах, участвующих в вычислениях ученого (универсальная гравитационная постоянная, профиль плотности Солнца, его масса и его радиус), то результат будет равен - самое большее - примерно 50 миллионам лет. Совпадение в оценках возраста Солнца и Земли придало теории Томсона еще большую весомость, хотя она и противоречила оценкам геологов и биологов.

Авторитет Томсона и строгость его расчетов затрудняли какую-либо критику полученного результата. Однако сегодня известно, что действительность ближе к значению, предложенному геологами XIX века, исходившими из качественных наблюдений. Методы радиоизотопного датирования, основанные на измерении числа различных радиоактивных атомов, присутствующих в геологических образцах или метеоритах, позволили определить возраст Земли с большой точностью, и сейчас принято значение 4500 миллионов лет, то есть в 5-20 раз больше, чем предложенное Томсоном.

Жители Земли не смогут продолжать наслаждаться светом и теплом, необходимыми для их жизни, в течение многих миллионов лет, если только в огромном складе мироздания не окажутся подготовленными источники тепла, неизвестные нам на данный момент.

Уильям Томсон

В чем была ошибка Томсона? Джон Перри (1850-1920), ирландский инженер и математик, а также помощник Томсона, рассказывает, что иногда его просили как-нибудь покритиковать расчеты Томсона, и всегда он отвечал одно и то же: «невозможно, чтобы лорд Кельвин совершил какую-нибудь ошибку в расчетах», и добавлял, что, может быть, секрет кроется в гипотезах, на которые опирался ученый. Каковы же были эти гипотезы?

Вспомним, что основным вопросом в расчете Томсона было сохранение энергии, которым он воспользовался для анализа модели Земли — твердого тела с физическими свойствами, однородными по всему объему. При этом не существует дополнительных источников энергии или тепла, кроме того, что предоставлен начальным состоянием при постоянной и однородной температуре.

Обнаружение радиоактивности означало новый взгляд на эту проблему, поскольку сразу же была открыта роль ядерного распада в качестве источника энергии и, следовательно, возможный эффект, который следовало учитывать при оценке возраста Земли и Солнца. В случае с Землей включение этого нового источника тепла в расчет Томсона не изменило бы результатов слишком сильно. Это связано с тем, что на испускание тепла поверхностью планеты по-настоящему повлияла бы только радиоактивность, присутствующая в тонком поверхностном слое, так что даже учет земной радиоактивности в модели Томсона не позволил бы вычислить реальный возраст Земли. Сам Томсон придерживался своей идеи до конца жизни и продолжал доверять своим оценкам возраста нашей планеты.

Однако ситуация с радиоактивностью на Земле очень отличается от ситуации на Солнце, энергия которого, как мы знаем сегодня, является результатом ядерного синтеза: ядра водорода соединяются, образуя атомы гелия. Следовательно, учет ядерных и радиоактивных процессов значительно изменил бы оценку Томсона, касающуюся времени, в течение которого Солнце испускает тепло.

За год до открытия радиоактивности и за несколько лет до того, как была осознана ее роль в качестве источника тепла, Перри наметил решение. Для этого он включил в земную модель Томсона значительное новшество. Воспользовавшись своими же советами, Перри проанализировал гипотезу коллеги и вместо того, чтобы считать Землю твердым телом, предположил, что скалистая твердая часть составляет лишь внешний слой толщиной несколько десятков километров, а внутренняя часть мантии Земли расплавлена. Это фундаментальное изменение предполагало большую теплопроводность, чем в модели твердой Земли, поскольку при этом появляется второй механизм теплопередачи - конвекция, намного более эффективная, чем диффузия, в нетвердых средах. Перри, говоря о возрасте Земли, оценивал его в миллиарды лет, но его оценка не была принята в расчет. Отверг ее и сам Томсон. Однако спустя некоторое время радиоизотопное датирование позволило отдать гипотезе Перри должное. Современные исследователи Ингланд, Молнар и Рихтер

в своей работе «Кельвин, Перри и возраст Земли» {American Scientist, 2007) уверяют, что если бы наука вовремя прислушалась к Перри, то важная для геодинамики теория дрейфа континентов была бы принята задолго до того, как это в итоге произошло.

Проблема возраста Земли вновь вышла на передний план в последние годы. «Креационистское» движение, которое в последнее время начало набирать силу и даже смогло изменить преподавание научных дисциплин в некоторых американских штатах, упорно выступает против достоверных результатов, полученных с помощью радиоизотопного датирования и геологических и биологических свидетельств. Креационисты утверждают, что Земля насчитывает самое большее примерно 10 тысяч лет и, следовательно, является самой молодой планетой. Интересный документ, оспаривающий доводы креационистов, на которых они строят свои расчеты, можно увидеть в работе Брента Далримпла под названием «Сколько лет Земле. Ответ «научному» креационизму».

Как уже было сказано, Томсон, вычисляя возраст Земли, допустил ошибки. И все же его попытка была прекрасным примером применеиия физики к проблеме, выходящей за рамки этой дисциплины. В наше время, когда междисциплинарность оказывается преимуществом в любых обстоятельствах, очень важно иметь перед глазами такой пример, как работа Томсона, который более 100 лет назад стремился использовать на практике некоторые понятия и законы физики.

И даже явный промах Томсона стал очень продуктивной ошибкой, потому что он вынудил научные сообщества геологов и биологов изменить методы исследований, развивать количественные техники и в то же время учитывать законы физики. Это стало очень важным изменением (которое даже можно назвать точкой бифуркации) в исследованиях, ведущихся с тех пор в этих естественных науках.

Список рекомендуемой литературы

Gamow, G., Biografía de la física, Madrid, Alianza Editorial, 2007.

Gribbin, J., Historia de la ciencia, 1543-2001, Barcelona, Crítica, 2003.

Hernández, M. y Prieto, J .L., Historia de la Ciencia vol. II, La Orotava (Tenerife), Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia, 2007.

Lindley, D., Degrees Kelvin. A tale of Genius, invention, and tragedy, Washington,Joseph Henry Press, 2004.

Sagan, D. y Schneider, E., La termodinámica de la vida, Barcelona, Tusquets, 2008.

Thompson, S .P., The life of William Thomson Baron Kelvin of Largs, vols. I and II, Cambridge University Press, 2011.

Trabulse, E., La Ciencia en el siglo xix, Ciudad de México, Fondo de Cultura Económica, 1987.

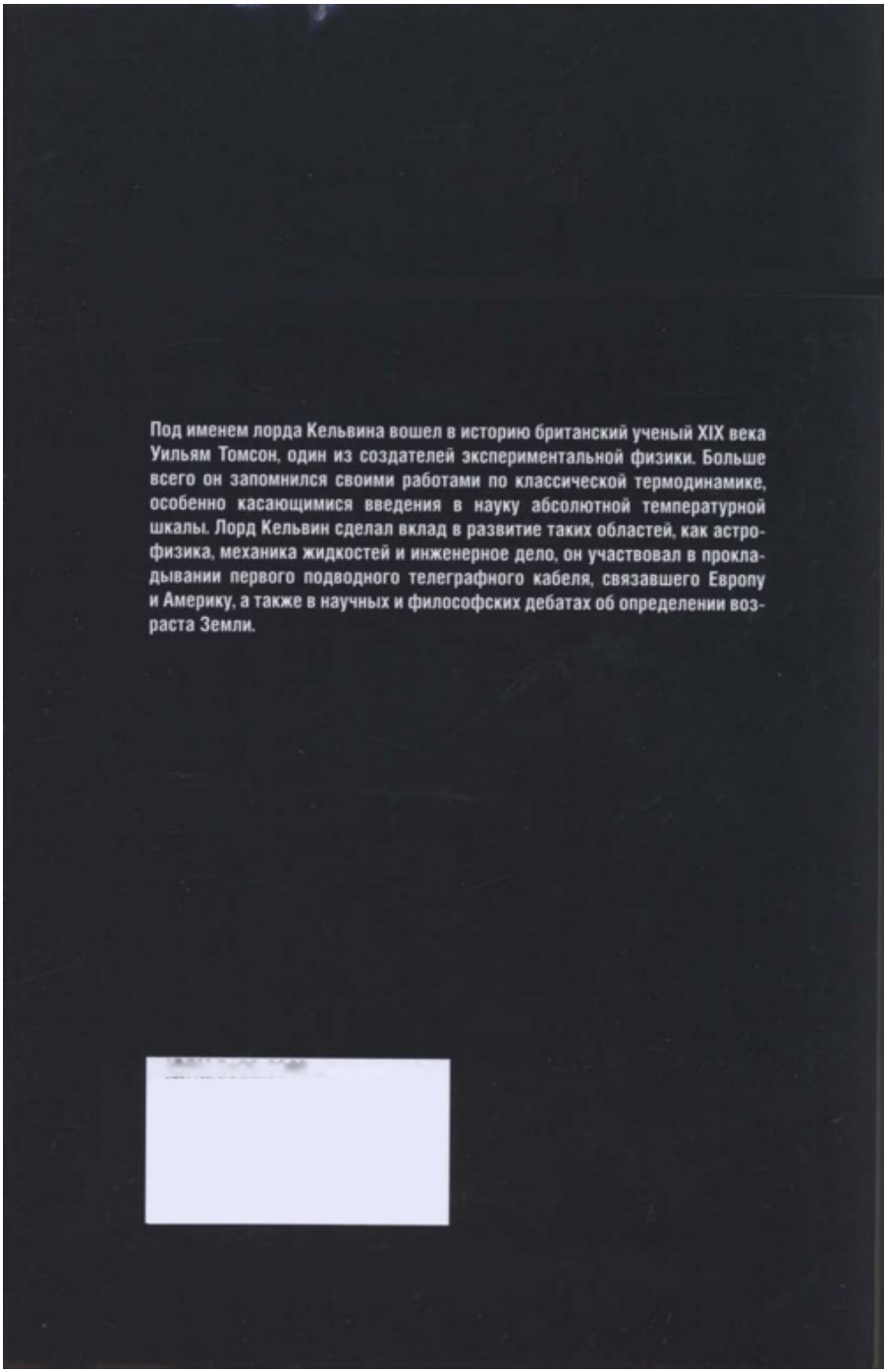
Указатель

Great Eastern, корабль 99
абсолютная температурная шкала 10, 11, 72-76, 80
абсолютный нуль 72-74, 76
«Агамемнон», корабль 94
Амонтон, Гийом 73, 74
атом 63, 64, 125, 127, 131, 132, 134, 135, 150
Балтиморские лекции (Baltimore Lectures) 57, 122-127, 130
Блэкберн, Хью 32, 60
Блэнди, Фрэнсис Анна 13, 115, 133
Блэнди, Чарльз 115
Больцман, Людвиг Эдуард 9, 132
Бор, Нильс 135
вакуум 33, 61, 123, 125
Вестингауз, Джордж 92
Виктория, королева 8, 10, 93, 94, 136
возраст Земли 9, 13, 26, 51, 137153
воспроизводимость 146, 147
Гамильтон, Уильям Роуэн 51, 102
Гардинер, Маргарет 18
гармонический анализатор приливов 110
Гельмгольц, Герман фон 11, 65, 85, 87, 88, 101, 112, 117, 118, 132, 150
Грегори, Дункан Фракварсон 21
Грин, Джордж 38, 39, 44
Гюйгенс, Христиан 127
Дарвин, Чарлз 9, 140, 141
Джоуль, Джеймс Прескотт 11, 65-72, 74, 75, 77-85, 87, 92, 119, 146
зеркальный гальванометр 95-97, 106, 107
изображений метод 39
капельный конденсатор 120, 121
Карно, Сади 41-42, 69-72, 75-81, 84-86
машина 42, 69-71, 75-79, 86
цикл 41, 70, 80
квадрантный электрометр 108
квантовая механика 135
Келланд, Филип 19, 21, 24
кельвин (единица температуры) 72, 73, 77
Кельвин, лорд 7-9, 12, 65, 135, 136
Кеплер, Иоганн 148
Клапейрон, Эмиль 41-42

Клаузиус, Рудольф 80, 81, 84-87, 132
колледж святого Петра 24, 43, 50, 51
компас 11, 82, 105, 109-112, 119-121
Коши, Огюстен Луи 34
Крам, Маргарет 13, 53
Куксон, Генри 32
Кулон, Шарль-Огюстен де 26
Кулона закон 26, 27, 34, 38, 44
Лагранж, Жозеф-Луи де 18-20
Лайель, Чарлз 141
«Лалла Рук», корабль 109, 115, 116
Ламберт, Иоганн Генрих 74
Лаплас, Пьер-Симон 18, 19, 63, 110
Леверье, Урбен 148-150
Лежандр, Адриен-Мари 19
Лиувилль, Жозеф 34, 38-39, 44, 51
магнетизм 10, 38, 59-61, 85, 91, 109-111, 117, 131
Майкельсон, Альберт Абрахам 128-130
Максвелл, Джеймс Клерк 8-10, 31, 43, 59-63, 118, 120, 124126, 130-132, 134
Международная ниагарская комиссия 91, 105
Мейер, Юлиус Лотар фон 135
Мейклхем, Уильям 19, 27, 49, 50, 55
Менделеев, Дмитрий Иванович 135
механический эквивалент тепла 66, 68-71, 84, 146
молекула 10, 70, 80, 125, 126
Морзе, Сэмюэл Финли Бриз 94-96, 98
код 94, 96, 98, 109, 115
Морли, Эдвард 128-130
Нагаока, Хантара 135
Нетерхолл 116, 136
«Ниагара», корабль 94
Ниагарский водопад 13, 91, 92
Никол, Джан 19, 49, 121
Ньютон, Исаак 61, 119, 128, 136, 148
паровая машина 32, 36, 42
Перри, Джан 151, 152
планетные орбиты 148-150
Планка постоянная 123
подводный телеграфный кабель 11, 93-100
поле
электрическое 26-29, 44, 61
электромагнитное 8, 63, 126, 129-131
премия Смита 11, 32, 50, 51, 56

радиоактивность 10, 131, 134, 151, 152
Рамзай, Эндрю 142
Резерфорд, Эрнест 135
Рентген, Вильгельм Конрад 134
рентгеновские лучи 10, 123, 134
Реньо, Анри Виктор 13, 32-34, 41, 51, 54, 55, 74-77, 79, 84
Румфорд, граф де 56, 64, 66
Рэлей, лорд 30, 120, 124
свет 8-10, 13, 25, 39, 40, 44, 56, 57, 59-62, 96, 109, 117, 122-130, 132, 134, 146, 148, 151
силовые линии 27, 28, 34, 37, 38, 40, 62
сифонный отметчик 106, 107
Смит, Арчибальд 50, 51, 53, 109, 111
сохранения законы 65, 66, 77, 84, 85, 116, 119, 141, 151
спектроскоп 124-126
Стокс, Джордж Габриель 11, 30, 51, 56-59, 69, 93, 102, 118, 150
Стретт, Джан Уильям (см. Рэлей, лорд) 30
телеграфия 11, 93-95, 98, 100106, 108, 116, 122
температура 10, 11, 20, 25, 32, 33, 42, 66, 67, 69, 70, 72-87, 142, 144, 145, 151
теорема Стокса 11, 57
теория
квантовая 9
относительности 9, 130
тепло 9, 10, 11, 15, 19, 20, 25-27, 31-33, 39, 41, 42, 51, 60, 62-64, 66-71, 75-88, 92, 104, 117, 121, 141, 142, 144, 146-148, 150-152
теплород 63, 64, 66-68, 75, 82, 85, 86
термодинамика 8, 32, 41, 42, 47, 65, 66, 80-89, 122, 132, 137, 141
термадиффузия 142, 144
Тесла, Никола 92, 93
токовые весы 108
Томпсон, Бенджамин (см. также Румфорд) 64, 66
Томсон Аллен 49 Анна 18
Джеймс (брат) 18, 71, 78, 101, 103, 110, 136
Джеймс (отец) 17, 18, 27, 30, 35, 43, 49, 51
Джозеф Джон 134
Джон 18, 102
Дэвид 49 Маргарет 18, 52
Роберт 18, 52
Томас 49
Элизабет 18, 52

Томсона эффект 11, 13, 81-83
трайпос 27-32, 38
«Трактат о натуральной философии» 13, 116, 117, 119
тригонометрические ряды Фурье 20, 22
Тэт, Питер Гатри 13, 116-119
Уайтхаус, Эдвард 94, 97, 98, 104, 106
упругость 8, 118, 121, 128, 131
Фарадей, Майкл 26-28, 34, 36, 38, 43, 44, 50, 58-63, 68, 69, 94, 102, 120
Филд, Сайрус 94, 98, 99, 105
Форбс, Джеймс Дэвид 49, 78, 116
Фраунгофер, Йозеф фон 124-126
Френель, Огюстен-Жан 9, 19, 122, 127, 128
Фуко, Жан Бернар Леон 34
Фурье, Жан Батист Жозеф 13, 15, 19-23, 25-27, 31, 34, 39, 104, 110, 119, 142, 144
Хопкинс, Уильям 30, 38, 51
черного тела излучение 9
Штурм, Жак Шарль Франсуа 34, 39
Эдисон, Томас Алва 92, 122
Эйнштейн, Альберт 61, 130, 149
Эйри, Джордж Биддель 102, 110, 111
электрионы 134, 135
электричество 10, 26, 33, 38-40, 44, 59, 60, 62, 68, 82, 88, 91, 93, 100, 101, 108, 117, 121, 122, 130, 134, 135
электромагнетизм 8, 10, 15, 26, 28, 39, 59, 60, 62, 63, 80, 91, 103, 106, 123-127, 129-132, 134
электромагнитный спектр 123
электрон 123, 125, 134, 135
энергия 9, 11, 33, 36, 63, 66, 67, 70, 77, 78, 84-87, 91-93, 116, 119, 122, 123, 125, 134, 141, 146-148, 150-152
эфир 9, 127-131, 134
эффект
Джоуля - Томсона 11, 81
Зеебека 81
Пельтье 81, 82
Томсона 11, 13, 81-82
юбилей 9, 17, 57, 136


Под именем лорда Кельвина вошел в историю британский ученый XIX века Уильям Томсон, один из создателей экспериментальной физики. Больше всего он запомнился своими работами по классической термодинамике, особенно касающимися введения в науку абсолютной температурной шкалы. Лорд Кельвин сделал вклад в развитие таких областей, как астрофизика, механика жидкостей и инженерное дело, он участвовал в прокладывании первого подводного телеграфного кабеля, связавшего Европу и Америку, а также в научных и философских дебатах об определении возраста Земли.

Под именем лорда Кельвина вошел в историю британский ученый XIX века Уильям Томсон, один из создателей экспериментальной физики. Больше всего он запомнился своими работами по классической термодинамике, особенно

касающимися введения в науку абсолютной температурной шкалы. Лорд Кельвин сделал вклад в развитие таких областей, как астрофизика, механика жидкостей и инженерное дело, он участвовал в прокладывании первого подводного телеграфного кабеля, связавшего Европу и Америку, а также в научных и философских дебатах об определении возраста Земли.